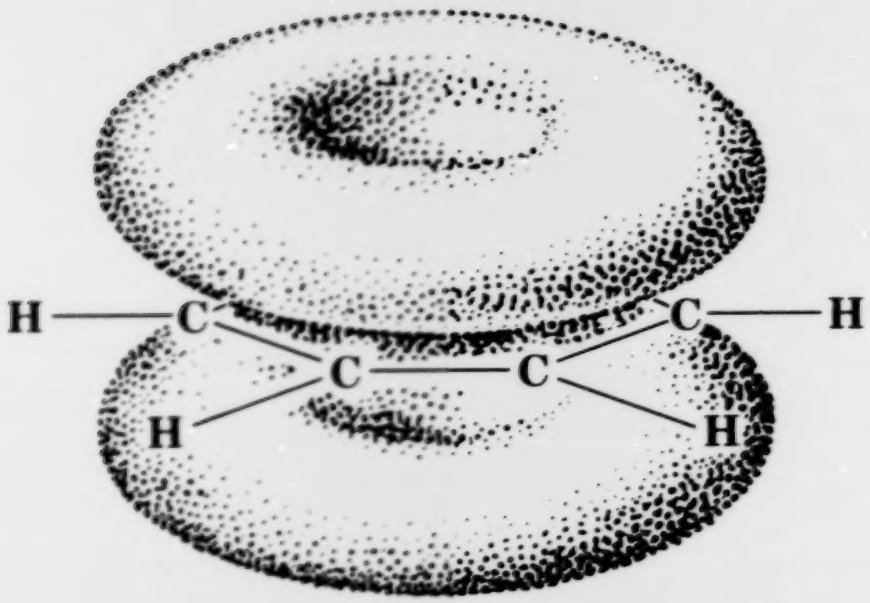
# Inventaire national des sources et des émissions de benzène (1985)

Rapport SPE 5/AP/1
Mars 1990

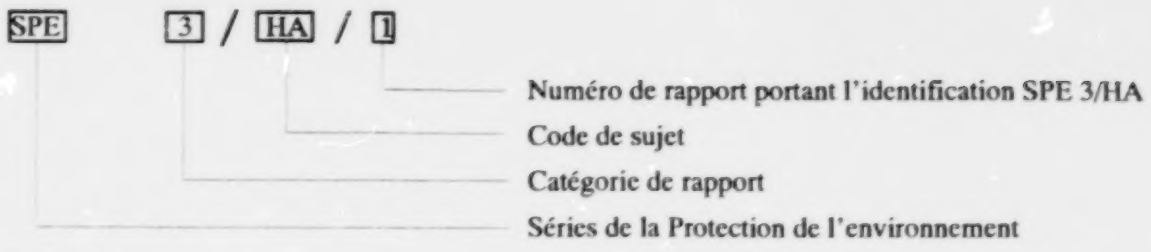



Environnement Canada
Environment Canada

Canada

## SÉRIES DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

**Exemple de numérotage:**




**Catégories**

1 Règlements/Lignes directrices/ Codes de procédures
2 Évaluation des problèmes et options de contrôle
3 Recherche et développement technologique
4 Revues de la documentation
5 Relevés
6 Évaluations des impacts sur l'environnement
7 Surveillance
8 Propositions, analyses et énoncés de principes généraux
9 Guides

**Sujets**

AG Agriculture
AN Technologie anaérobie
AP Polluants atmosphériques
AT Toxicité aquatique
CC Produits chimiques commerciaux
CE Consommateurs et environnement
CI Industries chimiques
FA Activités fédérales
FP Traitement des aliments
HA Déchets dangereux
IC Chimie inorganique
MA Pollution marine
MM Exploitation minière et traitement des minéraux
NR Régions du Nord et rurales
PF Papier et fibres
PG Production de l'électricité
PN Pétrole et gaz naturel
RA Réfrigération et climatisation
RM Méthodes de référence
SF Traitement de surface
SP Déversements de pétrole et de produits chimiques
SRM Méthodes de référence normalisée
TS Systèmes de transport
TX Textiles
UP Pollution urbaine
WP Protection/préservation du bois

Sujets et codes additionnels sont introduits au besoin. Une liste des SPE peut être obtenue en s'adressant aux Publications de la Protection de l'environnement, Conservation et Protection, Environnement Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0H3.

Printed on recycled paper

*Cette publication est imprimé sur du papier contenant des rebuts recyclés.*

Think Recycling

# INVENTAIRE NATIONAL DES SOURCES ET DES ÉMISSIONS DE BENZÈNE (1985)

par

A.P. Jaques

Direction des affaires réglementaires et de l'intégration des programmes
Direction générale de la protection de l'environnement
Environnement Canada

Rapport SPE 5/AP/1
Mars 1990

90-04605/

**Données de catalogage avant publication (Canada)**

Jaques, A. P

Inventaire national des sources et des émissions de benzène (1985)

(Rapport ; SPE 5/AP/1)
Publ. en anglais sous le titre: National inventory of sources and emissions of benzene (1985).
Comprend un résumé en anglais.
Publ. par Conservation et protection.
ISBN 0-662-95923-X
N° de cat. MAS En49-5/5-1F

1. Benzène -- Aspect de l'environnement. 2. Pollution -- Mesure. 3. Benzène (Combustible) -- Aspect de l'environnement. 4. Canada -- Industrie -- Aspect de l'environnement. I. Canada. Environnement Canada. II. Canada. Conservation et protection. III. Titre. IV. Collection: Rapport (Canada. Environnement Canada) ; SPE 5/AP/1.

TD887.H93J6314 1990 363.7'28 C90-098574-7

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1990
No de catalogue En 49-5/5-1F
ISBN 0-662-95923-X
IMPRIMERIE BEAUREGARD LIMITÉE

**COMMENTAIRES**

Les personnes qui désirent faire part de leurs commentaires sur la teneur du présent rapport sont priées de les adresser à :

A.P. Jaques
Direction des affaires réglementaires
et de l'intégration des programmes
Protection de l'environnement
Conservation et Protection
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0H3

This report is also available in English under the title "National Inventory of Sources and Emissions of Benzene (1985)". Please contact :

Publications
Environmental Protection
Conservation and Protection
Environment Canada
Ottawa, Ontario
K1A 0H3

## RÉSUMÉ

L'objet du présent rapport est de résumer les estimations des émissions de benzène dans l'environnement en 1985. Les émissions ont été classées par source, secteur et province. On a effectué les calculs en se fondant sur des données d'échantillonnage, des facteurs d'émission établis pour les divers procédés examinés et des chiffres de production. En 1985, les émissions anthropiques totales de benzène ont été évaluées à 34 150 t, dont 76 % provenaient du secteur des transports.

Le document fournit un bref résumé des sources et utilisations du benzène et de ses effets sur la santé ainsi qu'une analyse et une description des tendances quant aux émissions de benzène. On y traite aussi des méthodes employées pour estimer les émissions et de l'exactitude des données publiées.

## ABSTRACT

Estimates of the quantities of benzene released to the environment as emissions in 1985 are summarized in this report. Emissions have been classified by source, sector, and province. The data presented are estimates based on sampling data, process emission factors, and production figures. Total anthropogenic emissions of benzene in 1985 were estimated at 34 150 tonnes, with transportation sources accounting for 76 % of the total.

A brief summary of the sources and uses of benzene has been included as well as a summary of the health effects of benzene. An analysis and description of trends in benzene emissions are also presented. The methods used to estimate emissions and the accuracy of the data recorded have been described.

## TABLE DES MATIÈRES


| | | Page |
|---|---|---|
| RÉSUMÉ | | v |
| ABSTRACT | | vi |
| LISTE DES TABLEAUX | | ix |
| LISTE DES FIGURES | | x |
| SOMMAIRE | | xi |
| 1 | INTRODUCTION | 1 |
| 1.1 | Sources et utilisations du benzène | 1 |
| 1.2 | Le benzène et ses effets sur la santé des êtres humains | 3 |
| 1.3 | Méthodologie | 4 |
| 2 | ÉMISSIONS INDUSTRIELLES | 6 |
| 2.1 | Exploitation du pétrole brut | 6 |
| 2.2 | Raffineries de pétrole | 6 |
| 2.2.1 | Procédés de raffinage | 6 |
| 2.2.2 | Stockage de l'essence | 8 |
| 2.3 | Production de benzène | 8 |
| 2.3.1 | Reformage catalytique et séparation | 9 |
| 2.3.2 | Hydrodésalkylation | 10 |
| 2.3.3 | Production de l'essence de pyrolyse et de l'éthylène | 10 |
| 2.3.4 | Distillation de l'huile légère des fours à coke | 11 |
| 2.3.5 | Émissions des installations produisant du benzène | 14 |
| 2.4 | Production de fer et d'acier primaires | 14 |
| 2.5 | Procédés chimiques utilisant du benzène et ses dérivés | 16 |
| 2.5.1 | Éthylbenzène et styrène | 17 |
| 2.5.2 | Cyclohexane | 20 |
| 2.5.3 | Cumène | 22 |
| 2.5.4 | Phénol | 23 |
| 2.5.5 | Anhydride maléique | 23 |
| 2.5.6 | Solvants | 24 |
| 2.6 | Usines de bitume | 24 |
| 3 | ÉMISSIONS DUES À LA CONSOMMATION DE COMBUSTIBLES | 26 |
| 3.1 | Sources fixes | 26 |
| 3.1.1 | Production d'électricité par les services publics | 26 |
| 3.1.2 | Consommation industrielle | 27 |
| 3.1.3 | Consommation commerciale | 27 |
| 3.1.4 | Consommation dans le secteur de l'habitation | 27 |
| 3.2 | Sources mobiles | 28 |
| 3.2.1 | Véhicules routiers à moteur à essence | 28 |

| | | |
|---|---|---|
| 3.2.2 | Utilisations hors-route | 31 |
| 3.2.3 | Aéronefs | 31 |
| 3.2.4 | Transport ferroviaire | 31 |
| 3.2.5 | Transport maritime | 31 |
| 3.2.6 | Véhicules routiers à moteur diesel | 32 |
| 3.2.7 | Autres véhicules à moteur diesel | 32 |
| 4 | ÉMISSIONS PROVENANT DE L'INCINÉRATION DES DÉCHETS | 33 |
| 4.1 | Incinération des déchets urbains | 33 |
| 4.2 | Incinération des boues d'égout | 34 |
| 5 | ÉMISSIONS DE SOURCES DIVERSES | 35 |
| 5.1 | Commercialisation de l'essence | 35 |
| 5.2 | Chargement et déchargement du benzène | 37 |
| 6 | TENDANCES DES ÉMISSIONS | 39 |
| RÉFÉRENCES | | 42 |
| ANNEXE | EXEMPLES DE CALCULS DES ÉMISSIONS | 47 |
| A.1 | Émissions des réservoirs de stockage | 49 |
| A.1.1 | Réservoirs à toit fixe - Pertes dues à la respiration | 49 |
| A.1.2 | Réservoirs à toit fixe - Pertes au cours de l'utilisation | 51 |
| A.1.3 | Réservoirs à toit flottant - Pertes au cours du stockage | 51 |
| A.1.4 | Réservoirs à toit flottant - Pertes au cours du soutirage | 52 |
| A.2 | Émissions dues à la consommation de combustibles | 55 |
| A.2.1 | Émissions au cours du chauffage des habitations | 55 |
| A.2.2 | Émissions des véhicules | 59 |
| A.3 | Émissions au cours de la commercialisation de l'essence | 67 |

## LISTE DES TABLEAUX


| Tableau | | Page |
|---|---|---|
| S.1 | RÉSUMÉ DES ÉMISSIONS DE BENZÈNE EN 1985 | xi |
| 1 | PROPRIÉTES PHYSIQUES DU BENZÈNE | 1 |
| 2 | RÉSUMÉ DES CONCENTRATIONS DE BENZÈNE (PPB) MESURÉES DANS LES STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE CANADIENNES | 3 |
| 3 | ESTIMATIONS DES CONCENTRATIONS DE BENZÈNE DANS LES ÉMISSIONS FUGITIVES D'HYDROCARBURES AUTRES QUE LE MÉTHANE AU COURS DE CERTAINS PROCÉDÉS DE RAFFINAGE | 7 |
| 4 | CONSOMMATION D'ESSENCE ET CONCENTRATIONS DE BENZÈNE DANS L'ESSENCE AU CANADA (1985) | 8 |
| 5 | FACTEURS D'ÉMISSION DE BENZÈNE DANS UNE USINE D'ÉTHYLÈNE HYPOTHÉTIQUE (AVEC ET SANS MESURES ANTIPOLLUTION) | 12 |
| 6 | FACTEURS D'ÉMISSION DE BENZÈNE DANS LES USINES À SOUS-PRODUITS DU COKE | 13 |
| 7 | RÉSUMÉ DES FACTEURS D'ÉMISSION DE COMPOSÉS ORGANIQUES DANS LES INDUSTRIES DU FER ET DE L'ACIER, DES FONDERIES DE FER ET DES FERRO-ALLIAGES | 15 |
| 8 | FACTEURS D'ÉMISSION DE BENZÈNE POUR LES FUITES DANS LES USINES À SOUS-PRODUITS DU COKE | 17 |
| 9 | FACTEURS D'ÉMISSION POUR LA PRODUCTION D'ÉTHYLBENZÈNE ET DE STYRÈNE PAR ALKYLATION ET DÉSHYDROGÉNATION | 21 |
| 10 | FACTEURS D'ÉMISSION DE BENZÈNE DANS LA PRODUCTION DU CYCLOHEXANE PAR HYDROGÉNATION DU BENZÈNE | 22 |
| 11 | INDUSTRIES FAISANT PEUT-ÊTRE ENCORE USAGE DU BENZÈNE COMME SOLVANT ET PRODUITS FINIS CONTENANT PEUT-ÊTRE DU BENZÈNE | 25 |
| 12 | FACTEURS D'ÉMISSION DANS LA COMMERCIALISATION DE L'ESSENCE | 38 |
| A.1 | VALEURS HYPOTHÉTIQUES AYANT SERVI AU CALCUL DES ÉMISSIONS DES RÉSERVOIRS DE STOCKAGE (SANS MESURES ANTIPOLLUTION) | 50 |
| A.2 | FACTEURS D'ÉMISSION DE COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS AU COURS DU STOCKAGE DU PÉTROLE | 53 |

**LISTE DES TABLEAUX** (suite)


| | | Page |
|---|---|---|
| A.3 | COMPOSITION DU BOIS DE CHAUFFAGE | 55 |
| A.4 | CONCENTRATIONS DE BENZÈNE DANS L'ESSENCE | 59 |
| A.5 | ÉMISSIONS DES VÉHICULES ROUTIERS À MOTEUR À ESSENCE | 59 |
| A.6 | ÉMISSIONS DE BENZÈNE POUR DIVERS DISPOSITIFS ANTIPOLLUTION | 62 |
| A.7 | FACTEURS D'ÉMISSION D'HYDROCARBURES POUR LES BATEAUX | 65 |
| A.8 | FACTEURS D'ÉMISSION D'HYDROCARBURES POUR LES VÉHICULES À MOTEUR DIESEL | 66 |


**LISTE DES FIGURES**


| Figure | | |
|---|---|---|
| S.1 | ÉMISSIONS DE BENZÈNE PAR PROVINCE | xii |
| S.2 | ÉMISSIONS DE BENZÈNE PAR SECTEUR | xii |
| 1 | PRODUCTION DE BENZÈNE AU CANADA | 9 |
| 2 | DEMANDE ET UTILISATION DE BENZÈNE AU CANADA (1985) | 18 |
| 3 | SYSTÈME DE DISTRIBUTION DE L'ESSENCE AU CANADA | 36 |
| 4 | TENDANCES ET PRÉVISIONS RELATIVES AUX ÉMISSIONS DES VÉHICULES ROUTIERS À MOTEUR | 40 |
| A.1 | ESTIMATIONS DU NOMBRE DE VÉHICULES ROUTIERS À MOTEUR | 63 |
| A.2 | FACTEURS D'ÉMISSION D'HYDROCARBURES POUR LES VÉHICULES ROUTIERS À MOTEUR | 64 |

## SOMMAIRE

L'objectif du présent inventaire est de répertorier les sources anthropiques d'émissions de benzène dans l'environnement. Aux fins de ce rapport, on entend par émissions les rejets de gaz dans l'atmosphère.

Les estimations des émissions de benzène au Canada en 1985 sont présentées au tableau S.1. Les figures S.1 et S.2 les ventilent par province et par source.

Les émissions anthropiques totales de benzène en 1985 ont été évaluées à 34 150 t. On estime que les émissions dues à la combustion de l'essence et des carburants diesel en représentaient 25 895 t, à savoir 76 % du total. Les émissions provenant de la production du benzène et d'autres substances chimiques ont été évaluées à 4 846 t (14 %), celles des sources fixes de consommation de combustibles à 1 405 t (4%) et celles de la commercialisation de l'essence à 654 t (2 %). Les émissions qui restent (4 %) provenaient d'autres sources diverses et industrielles.

La comparaison des données du présent rapport et de celles des années antérieures montre que les émissions de benzène diminuent depuis 1980, principalement à cause de la réduction des émissions des véhicules.

TABLEAU S.1 RÉSUMÉ DES ÉMISSIONS DE BENZÈNE EN 1985 (t)

| Secteur | T.-N. | Î.-P.-É. | N.-É. | N.-B. | Qué. | Ont. | Man. | Sask. | Alb. | C.-B. | Terr. | Canada | % du total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Procédés industriels** | | | | | | | | | | | | | |
| Exploitation du pétrole brut | | | <1 | <1 | 1 | <1 | | 7 | 52 | 3 | | 64 | 0,19 |
| Raffinage du pétrole | | | 31 | 18 | 60 | 55 | | 26 | 51 | 61 | | 302 | 0,88 |
| Production de benzène | | | | | 326 | 1 604 | | | 292 | | | 2 220 | 6,50 |
| Production de substances chimiques | | | | | 164 | 1 294 | | | 1 141 | 27 | | 2 626 | 7,69 |
| Production de fer et d'acier primaires | | | 10 | | | 315 | 17 | <1 | | <1 | | 343 | 1,00 |
| Utilisation de solvants | 12 | 3 | 17 | 14 | 132 | 177 | 21 | 20 | 46 | 57 | 1 | 500 | 1,47 |
| **Combustibles - Sources fixes** | | | | | | | | | | | | | |
| Production d'électricité | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | 1 | <1 | 1 | 1 | <1 | <1 | 4 | 0,01 |
| Consommation par l'industrie | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | 1 | 0,00 |
| Consommation par les commerces | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | <1 | 0,00 |
| Consommation par les habitations | 140 | 56 | 56 | 56 | 532 | 448 | 28 | 28 | 28 | 14 | 14 | 1 400 | 4,10 |
| **Combustibles - Sources mobiles** | | | | | | | | | | | | | |
| Véhicules légers | 363 | 159 | 766 | 646 | 3 986 | 7 268 | 1 053 | 1 050 | 2 397 | 3 120 | 58 | 20 818 | 60,96 |
| Véhicules lourds | 41 | 12 | 79 | 74 | 208 | 555 | 106 | 165 | 220 | 323 | 31 | 1 814 | 5,31 |
| Aéronefs | 5 | 1 | 3 | 8 | 52 | 93 | 10 | 16 | 48 | 40 | 10 | 288 | 0,84 |
| Transport ferroviaire | 5 | <1 | 2 | 1 | 10 | 17 | 10 | 6 | 19 | 10 | <1 | 80 | 0,23 |
| Transport maritime | 29 | <1 | 21 | 12 | 92 | 290 | 36 | 36 | 63 | 121 | <1 | 700 | 2,05 |
| Utilisation hors-route | 27 | 6 | 26 | 30 | 89 | 265 | 130 | 382 | 623 | 136 | 14 | 1 730 | 5,07 |
| Autres véhicules diesel | 9 | 2 | 16 | 8 | 54 | 83 | 24 | 67 | 113 | 77 | 12 | 465 | 1,36 |
| **Incinération de déchets solides** | | | | | | | | | | | | | |
| Déchets urbains | | 4 | | | 65 | 43 | | | | 4 | | 116 | 0,34 |
| **Sources diverses** | | | | | | | | | | | | | |
| Commercialisation de l'essence | 11 | 4 | 22 | 19 | 140 | 250 | 27 | 27 | 78 | 74 | 2 | 654 | 1,92 |
| **Chargement du benzène** | | | | | 2 | 20 | | | 3 | | | 25 | 0,07 |
| Totaux | 644 | 197 | 1 049 | 887 | 5 912 | 12 760 | 1 480 | 1 832 | 5 179 | 4 068 | 142 | 34 150 | 99,99 |

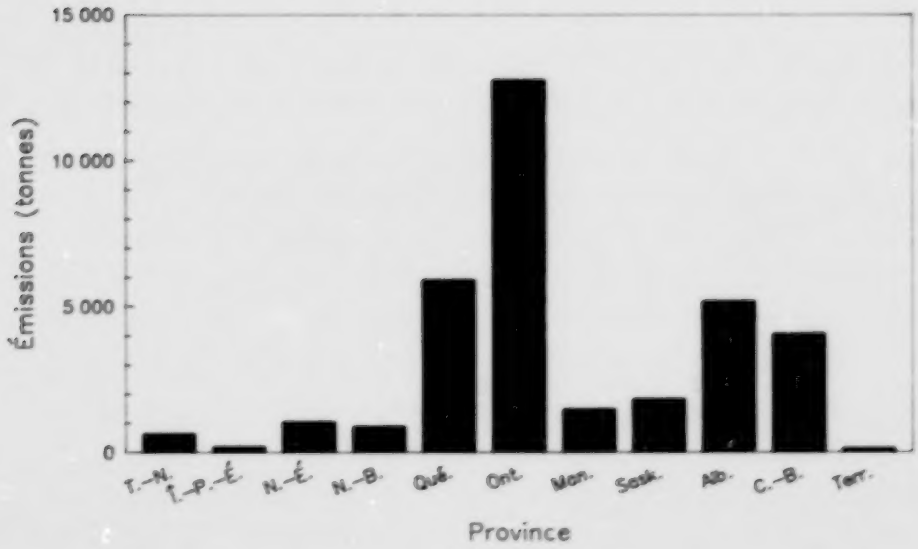
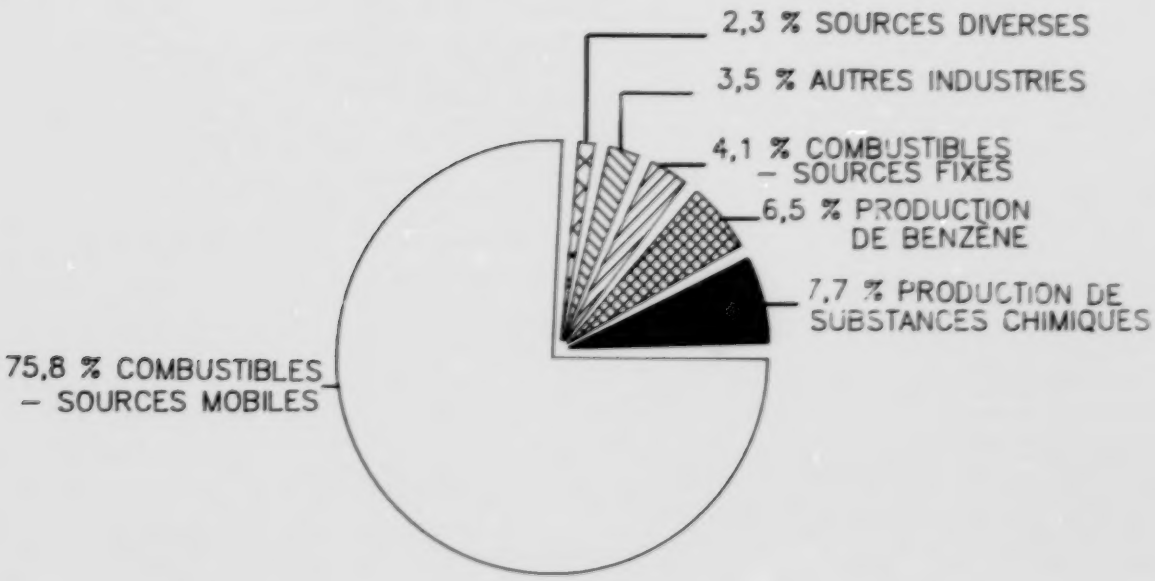



FIGURE S.1 ÉMISSIONS DE BENZÈNE PAR PROVINCE




Émissions totales: 34 150 tonnes

FIGURE S.2 ÉMISSIONS DE BENZÈNE PAR SECTEUR

# 1 INTRODUCTION

Le présent rapport vise à recenser et à quantifier les sources anthropiques des émissions de benzène dans l'atmosphère au Canada en 1985. Les renseignements qu'il contient proviennent de nombreuses sources, dont des rapports publiés, des questionnaires et les résultats de tests.

On y décrit les procédés industriels et chimiques et les autres activités qui produisent d'importantes émissions de benzène afin de faciliter la préparation des inventaires futurs et de permettre aux lecteurs de comprendre les phénomènes en cause.

## 1.1 Sources et utilisations du benzène

La benzène est un liquide incolore et clair, qui est très inflammable et dont le point d'ébullition est faible et la tension de vapeur élevée. Il est soluble dans la majorité des solvants et composés organiques. Il s'agit d'un hydrocarbure aromatique cyclique hexagonal dont le noyau est formé de six atomes de carbone, dont chacun est lié à un atome d'hydrogène. Son indice de réfraction est élevé; il est non polaire et non réactif, et sa viscosité et sa tension superficielle sont faibles. Le tableau 1 donne certaines propriétés physiques et chimiques du benzène.

TABLEAU 1 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DU BENZÈNE

| Propriété | Valeur |
|---|---|
| Formule moléculaire | $C_6H_6$ |
| Poids moléculaire | 78,11 |
| Point de fusion | 5,53 °C |
| Point d'ébullition (à 101 kPa) | 80,1 °C |
| Densité de vapeur (air = 1) | 4,0 à 90 °C |
| Tension de vapeur à 20 °C | 1 kPa |
| Point d'éclair (coupelle fermée) | -11,1 °C |
| Température d'auto-inflammation | 580 °C, essence à indice d'octane de 92 (390 °C) |
| Tension superficielle (à 25 °C) | 281,8 µN/cm |
| Densité relative (eau = 1) | 0,879 à 20 °C |
| Chaleur de combustion | 41,86 kJ/g (à pression constante à 25 °C) |
| Chaleur de fusion | 9,84 kJ/mole |
| Chaleur de vaporisation | 33,86 kJ/mole (100 °C) |
| Solubilité dans l'eau (% en poids à 20 °C) | 0,17 |

Le benzène peut être produit à partir de condensats du pétrole, du charbon ou du gaz naturel. Il se forme au cours de la fabrication de l'essence et sert de solvant ainsi que de produit intermédiaire dans la fabrication de nombreuses substances chimiques dont l'éthylbenzène, le cumène, le cyclohexane et l'anhydride maléique.

En raison de son faible point d'ébullition et de sa tension de vapeur élevée, le benzène s'évapore rapidement à des pressions et des températures normales. Compte tenu de sa structure annulaire, il est normalement stable dans l'atmosphère. Il est assez peu susceptible de se dégrader par réaction photochimique et ne contribue donc guère à la production de polluants de cette source (1).

Le benzène est sujet au lavage par les précipitations et est fortement susceptible d'aboutir dans les océans sous forme de dépôts humides. Toutefois, il s'évapore rapidement dans l'eau en raison de sa forte tension de vapeur et de son faible degré de solubilité. Le benzène pourrait être soumis indéfiniment à un tel cycle s'il n'avait pas tendance à pénétrer les surfaces disponibles et à s'y fixer (1,2). Les équations pronostiques démontrent cependant que pratiquement toutes les émissions de benzène dans l'environnement demeurent dans l'atmosphère (3). Il se produit une dégradation photochimique du benzène dans la basse atmosphère, provoquée indirectement par réaction avec des oxydes nitriques. On croit généralement que des radicaux hydroxyles, issus de plusieurs réactions intermédiaires, représentent les plus importantes espèces réactives à l'origine de la dégradation des hydrocarbures aromatiques, notamment du benzène, dans l'atmosphère (3). Les réactions du benzène avec les radicaux hydroxyles n'ont pas encore été entièrement élucidées et aucune prévision quantitative exacte du comportement du benzène dans l'environnement n'a été effectuée.

Les principales sources anthropiques de pollution de l'environnement par le benzène sont la combustion de l'essence, la production de substances chimiques dont le benzène constitue la charge d'alimentation, et les raffineries. D'autres sources d'importance sont les pertes de benzène et de liquides contenant du benzène pendant leur transport et leur stockage, les sources fixes de consommation de combustibles et la production du coke.

Le benzène a été décelé dans les fruits, les poissons, les légumes, les noix, les produits laitiers, les boissons et les oeufs. On a signalé des concentrations de benzène atteignant jusqu'à 300 µg/L dans l'eau et 2 100 µg/kg dans les oeufs (4).

Dans les centres urbains, les concentrations de benzène dans l'air ambiant varient de moins de 1 ppb (partie par milliard) à 500 ppb (5). La plus forte concentration de cette substance mesurée récemment au Canada était de 25 ppb (6). Dans les zones

rurales isolées, qui ne sont pas fortement perturbées par les émissions, des concentrations de fond d'environ 0,2 ppb sont normales (3). Le tableau 2 donne des mesures récentes de concentrations de benzène dans l'air au Canada (6). Bien que peu de mesures aient été effectuées récemment, une comparaison avec des concentrations relevées dans des villes il y a dix ans montre que les teneurs en benzène de l'air ont diminué de façon significative et, dans certains cas, peuvent actuellement représenter en moyenne aussi peu que 20 % des valeurs mesurées à cette époque (3,4).

TABLEAU 2 RÉSUMÉ DES CONCENTRATIONS DE BENZÈNE (PPB) MESURÉES DANS LES STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE CANADIENNES (6)

| Ville | Adresse | Dates | Nombre d'échantillons | Moyenne | Écart type | Maximum |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Sarnia | Centennial Park | août 83 - sept. 83 | 8 | 6,0 | 4,9 | 15,3 |
| Toronto | Junction Triangle | août 84 - mars 86 | 105 | 2,8 | 1,6 | 11,6 |
| Montréal | Pointe-aux-Trembles | août 84 - août 86 | 83 | 5,7 | 4,8 | 25,1 |
| Vancouver | Rocky Point Park | déc. 85 - juill. 86 | 38 | 3,2 | 2,6 | 11,2 |
| Toronto | 26, Breadalbane | août 86 - oct. 86 | 13 | 0,9 | 0,4 | 1,6 |

Remarque : Toutes les concentrations sont des moyennes pour 24 heures.

## 1.2 Le benzène et ses effets sur la santé des êtres humains

Le benzène présent dans l'environnement qui pénètre dans le corps humain, principalement par inhalation, est rapidement absorbé par le sang dans une proportion de 28 à 50 % (7). Environ la moitié du benzène absorbé n'est pas métabolisé et est éliminé par les poumons; un faible pourcentage est aussi éliminé par les reins et le reste est transformé par les enzymes du foie en dérivés solubles dans l'eau qui sont évacués dans l'urine (8). Quand le benzène excède la capacité du système enzymatique, il s'accumule dans les zones à forte teneur en graisse comme les tissus adipeux, la moelle osseuse et le cerveau. Le benzène peut aussi être ingéré ou absorbé par la peau.

On estime que les concentrations annuelles absorbées par inhalation varient de 48 mg chez les citadins (teneurs en benzène de l'air de 4 ppb) à 12 mg chez les habitants des zones rurales (teneurs de 1 ppb) (3). Pour ce qui est des doses ingérées annuellement, tant dans la nourriture que dans l'eau, on les estime à 91 mg pour les citadins et à 0,5 mg

pour les habitants des zones rurales (3). Ces estimations reposent sur une ingestion quotidienne de 250 µg dans la nourriture (9) et sur une consommation quotidienne de 1,5 L d'eau potable dont la concentration en benzène est de 1 ppb.

Les effets aigus du benzène sont habituellement provoqués par l'inhalation de vapeurs concentrées de cette substance dans des pièces mal aérées. La dose létale est de 20 000 ppm (partie par million) pour une durée d'exposition de 5 à 10 min; une concentration de 7 500 ppm est dangereuse pour les êtres humains au bout d'une exposition de 30 min; une exposition de 5 h à des concentrations de 50 à 150 ppm entraîne maux de tête, fatigue et épuisement, tandis qu'une concentration inférieure à 25 ppm ne semble avoir aucun effet à court terme au bout d'une exposition de 8 h (10). Puisque les concentrations qui ont des effets préjudiciables perceptibles dépassent de plusieurs ordres de grandeur les concentrations auxquelles les êtres humains sont exposés dans l'environnement, les effets toxiques aigus de cette substance ne sont pas associés à la pollution de l'air ambiant par le benzène. Toutefois, pour le grand public qui peut être exposé au benzène dans l'air, les effets chroniques peuvent être importants, même si les concentrations sont faibles. Dans le milieu de travail, les expositions à long terme au benzène ont entraîné des effets cytogénétiques et des insuffisances au niveau des organes formateurs du sang, dont l'anémie hémolytique et la leucémie.

Cependant, les données concernant les effets cytogénétiques d'une exposition pendant des périodes prolongées à de faibles concentrations de benzène ne sont pas concluantes, et les liens entre les anomalies du sang et une exposition chronique n'ont pas été établis avec certitude (8,11). Bien qu'il n'y ait pas unanimité au sujet de l'importance des données épidémiologiques recueillies chez des travailleurs exposés à des concentrations de moins de 102 ppm de benzène, on reconnaît généralement que les individus exposés à de plus fortes teneurs de cette substance pendant au moins une ou deux années risquent davantage d'être atteints de leucémie (3). Pour une étude plus approfondie des effets du benzène sur la santé, on peut consulter le rapport au sujet de cette substance publié par Santé et Bien-être social Canada (10) et des études plus récentes.

### 1.3 Méthodologie

Plusieurs méthodes ont été employées afin d'estimer les émissions de benzène; on s'est fondé sur des données fournies par l'industrie, des études et des calculs réalisés par Environnement Canada et des données de surveillance présentées dans des documents traitant de procédés et de facteurs d'émission similaires. Un facteur d'émission constitue une moyenne statistique de la vitesse à laquelle un contaminant est libéré dans

l'environnement par suite d'une activité donnée; il peut porter sur une seule étape ou sur la totalité d'un procédé, celui-ci comportant ou non des mesures antipollution.

Le présent rapport précise les sources de tous les facteurs d'émission qui y sont mentionnés. La majorité des facteurs d'émission ont été établis pour des matières contenant du benzène; par conséquent, les émissions seront fonction tant de la quantité de matières transformées que de la concentration de benzène. Du benzène est également libéré pendant la combustion de certains aromatiques; la teneur en benzène de ces substances peut donc influer de façon significative sur les estimations. Par exemple, la teneur en benzène des gaz d'échappement des voitures augmente parallèlement à l'accroissement des concentrations d'aromatiques, même si la teneur en benzène de l'essence demeure stable (12).

Pour faire l'inventaire de tout type d'émission, il est indispensable de disposer de données exactes au sujet du volume et des caractéristiques des émissions de toutes les sources. La méthode qui offre le plus d'exactitude à cet égard consiste à surveiller les émissions à chaque source, mais elle est peu pratique en raison du grand nombre de sources de benzène et de leur diversité. Tous les efforts possibles ont été déployés afin de rassembler les données les plus récentes et les plus exactes pour élaborer le présent rapport.

# 2 ÉMISSIONS INDUSTRIELLES

## 2.1 Exploitation du pétrole brut

En règle générale, le pétrole brut présente une faible teneur en benzène (de 0,15 à 0,2 % en volume) (4). Néanmoins, du benzène peut être libéré au cours de la production, du transport et du stockage du pétrole brut.

En 1985, le Canada a produit 63 373 130 $m^3$ de pétrole brut (13). Les émissions de benzène au cours de la production du pétrole brut ont été évaluées à 18 t, en fonction d'un facteur d'émission de 0,28 $g/m^3$ (4,14).

Au total, 79 808 060 $m^3$ de pétrole brut et d'équivalents ont été livrés aux raffineries canadiennes en 1985 (13). Un facteur d'émission de 0,55 $mg/m^3$ a été utilisé pour calculer les émissions au cours du transport du pétrole brut (4,14), qui représentaient 44 t en 1985.

Les émissions de benzène provenant des réservoirs de stockage des raffineries ont été estimées en tenant compte de la taille, du type et du nombre de réservoirs dans chaque province et à l'aide des équations les plus récentes servant à calculer les pertes d'hydrocarbures pendant le stockage et le soutirage (15,16). Un exemple de calcul et plusieurs facteurs d'émission sont présentés en annexe (A.1). Les émissions totales de benzène provenant du stockage du pétrole brut ont été évaluées à 2 t, tandis que celles provenant de l'exploitation du pétrole brut dans son ensemble ont été estimées à 64 t.

## 2.2 Raffineries de pétrole

**2.2.1 Procédés de raffinage.** Étant donné que le pétrole brut présente de faibles concentrations de benzène d'origine naturelle, certains procédés de raffinage peuvent libérer du benzène en dépit des mesures particulières prises pour récupérer cette substance. Le présent rapport ne vise toutefois pas à décrire de façon détaillée et complète les diverses opérations de raffinage.

Voici certaines sources potentielles d'émissions de benzène dans les raffineries : cycle de séparation des naphtas léger et lourd du pétrole brut; installations de craquage catalytique fluide et d'hydrocraquage; stockage du distillat moyen; hydrodésulfuration de l'huile lubrifiante; cokéfaction; et stockage et mélange des hydrocarbures lourds (4,17). En outre, des émissions fugitives d'hydrocarbures proviennent de la robinetterie, des pompes, des dispositifs de vidange, des raccords, des soupapes de sûreté et des compresseurs.

Des données ont été publiées au sujet des concentrations de benzène dans les émissions fugitives d'hydrocarbures autres que le méthane; toutefois, il a été impossible d'établir des facteurs d'émission à partir de ces données (tableau 3).

TABLEAU 3 ESTIMATIONS DES CONCENTRATIONS DE BENZÈNE DANS LES ÉMISSIONS FUGITIVES D'HYDROCARBURES AUTRES QUE LE MÉTHANE AU COURS DE CERTAINS PROCÉDÉS DE RAFFINAGE (17)

| Procédé/unité | Produit (pourcentage des émissions fugitives totales attribuables au produit) | Concentration de benzène du produit (ppm en poids) |
|---|---|---|
| Distillation du pétrole brut | Pétrole brut (74) | 46 |
| | Naphta de première distillation (24) | 59 |
| Extraction des aromatiques | Reformat (12) | 648 |
| | Extrait d'aromatiques (44) | 7 850 |
| | Raffinat (44) | |
| Cokéfaction différée | Naphta de craquage (57) | 1 642 |
| Craquage catalytique fluide | Naphta de craquage (45) | 1 296 |
| Hydrotraitement | Naphta de première distillation (47) | 119 |
| | Naphta désulfuré (47) | 119 |
| Reformage catalytique | Naphta désulfuré (47) | 119 |
| | Reformat (47) | 2 538 |
| Production d'hydrogène | Naphta de première distillation (19) | 48 |

On a évalué les émissions de benzène des raffineries à l'aide de facteurs d'émission établis pour les installations dotées de mesures antipollution et pour celles qui en sont dépourvues (4,14). Bien que toutes les raffineries prennent certaines mesures antipollution, on a présumé que les installations dont la capacité quotidienne était inférieure à 5 570 $m^3$ n'en prenaient aucune. Les facteurs d'émission employés ont été de 6,48 $g/m^3$ pour les installations sans mesures antipollution et de 1,18 $g/m^3$ pour celles dotées de telles mesures. On a estimé les émissions de benzène à 168 t, en tenant compte du nombre et de la capacité des raffineries dans chaque province (16).

**2.2.2 Stockage de l'essence.** Les pertes de benzène au cours du stockage et du soutirage ont été évaluées à l'aide des équations AP-42/API les plus récentes destinées au calcul des pertes d'hydrocarbures des réservoirs de stockage (15,18) et en fonction du nombre de réservoirs, de leur taille, de leur type (à toit flottant ou fixe) et du produit stocké (16). En outre, on a présumé que la moyenne pondérée de la teneur en benzène de l'essence était de 1,81 % (en volume) (tableau 4). Des exemples de calculs sont présentés en annexe (A.1). Les émissions totales de benzène provenant du stockage de l'essence en 1985 ont été évaluées à 134 t.

Pour ce qui est des émissions totales de benzène provenant des raffineries de pétrole, les estimations de 1985 sont de 302 t.

TABLEAU 4 CONSOMMATION D'ESSENCE ET CONCENTRATIONS DE BENZÈNE DANS L'ESSENCE AU CANADA (1985)

| Type d'essence | Demande (19) (x $10^6$ $m^3$) | Concentration moyenne de benzène (20) % (vol.) |
|---|---|---|
| Au plomb | 16,50 | 1,5* |
| Sans plomb | 13,42 | 2,0 |
| Super sans plomb | 2,81 | 2,7 |
| TOTAL | 32,73 | Moyenne pondérée 1,81 |

* La concentration moyenne des échantillons était de 1,25 %; toutefois, on a utilisé une moyenne de 1,5 % pour effectuer les calculs (annexe).

## 2.3 Production de benzène

On peut récupérer le benzène du pétrole ou du charbon au moyen de quatre procédés. Les plus grandes quantités de benzène sont produites à partir du pétrole, au moyen des procédés suivants :

1) reformage catalytique du naphta (et extraction par solvant);
2) désalkylation ou dismutation du toluène; et
3) séparation de l'essence de pyrolyse.

Le quatrième procédé consiste en la distillation de l'huile légère des fours à coke. En 1985, la production totale de benzène a atteint 688 000 t (21). Aucune donnée n'était disponible concernant la production de benzène pour chacun des quatre procédés

mentionnés ci-dessus. Dans les descriptions de ces procédés qui suivent, on identifie les sources d'émission et on présente les renseignements disponibles au sujet des émissions de benzène. Les diverses méthodes de production du benzène font l'objet de la figure 1.

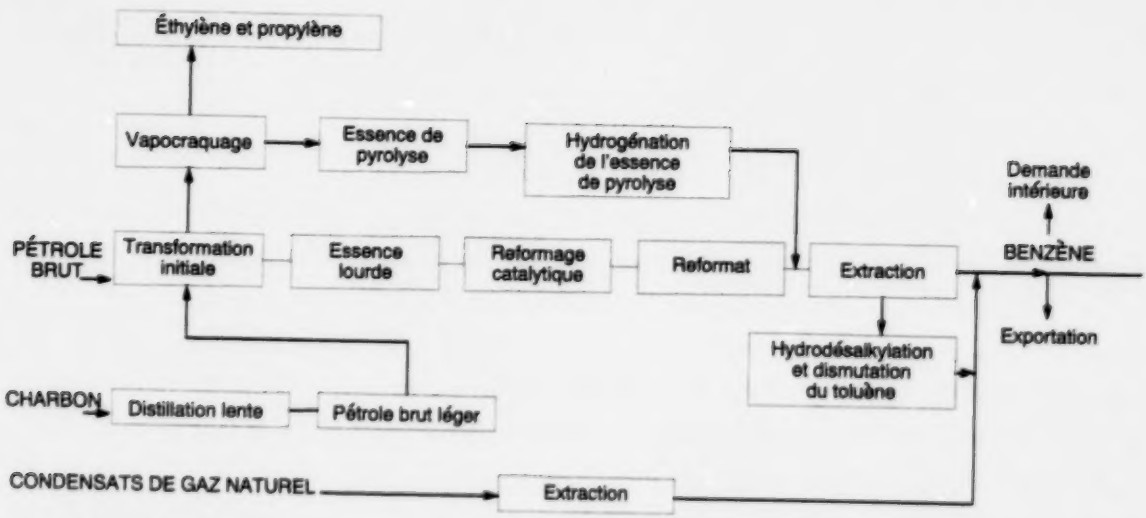



FIGURE 1 PRODUCTION DE BENZÈNE AU CANADA

**2.3.1 Reformage catalytique et séparation.** Le reformage catalytique sert à la préparation de bases à indice d'octane élevé pour la production d'essences et d'aromatiques proprement dits. Ce procédé est associé à la production du toluène et du xylène dans des usines dites de BTX (benzène, toluène, xylène).

Divers solvants peuvent être employés pour l'extraction ou la séparation du benzène (et d'autres aromatiques) à partir du reformat. On utilise généralement des glycols (tétraéthylène glycol) et du sulfolane (dioxyde de 1,1-tétrahydrothiophène) (22, 23). On chauffe l'extrait que l'on passe ensuite dans des tours d'argile afin d'éliminer toutes les oléfines. On peut alors procéder à la séparation du benzène, du toluène et du xylène par fractionnement.

On n'a pas établi de facteur d'émission ni d'estimation des émissions de benzène à la source pour le procédé de reformage catalytique et de séparation. Toutefois, d'après certaines données, du benzène peut être libéré au cours du procédé pendant la régénération ou le remplacement du catalyseur, le recyclage de l'hydrogène vers le reformeur et l'extraction des gaz légers du séparateur (23). Selon une estimation générale, 1 % de tout le benzène produit par reformage catalytique est libéré dans l'environnement (23,24). D'après une description, le procédé au sulfolane permet une récupération de 99,9 % (ce qui représente des émissions de 0,1 %) (23,24). Le benzène non récupéré n'est pas forcément libéré sous forme d'émissions; il peut demeurer dans le raffinat, qui peut servir comme charge d'alimentation.

**2.3.2 Hydrodésalkylation.** On peut aussi obtenir du benzène par désalkylation ou dismutation du toluène. La désalkylation du toluène est réalisée au moyen de procédés thermiques ou catalytiques. Du toluène ou du toluène mélangé à d'autres aromatiques ou paraffines est chauffé et chargé dans le réacteur avec de l'hydrogène en excès. Le toluène réagit avec l'hydrogène pour produire du benzène et du méthane. Environ 70 à 85 % du toluène est transformé en benzène au cours de chaque passage dans le système et on obtient finalement un rendement de 95 % du rendement théorique (23).

La dismutation du toluène permet de produire du benzène et des xylènes par réaction catalytique. Le procédé de base est similaire à la désalkylation du toluène, mais il est plus efficace. On n'a pu retrouver aucun facteur d'émission propre à une source particulière pour les émissions de benzène provenant de ces deux procédés. Dans le cas de la désalkylation, les sources potentielles de benzène sont la séparation du benzène et du méthane, la distillation et la régénération du catalyseur (24); dans le cas de la dismutation, ce sont la séparation du benzène et du xylène et la régénération du catalyseur.

**2.3.3 Production de l'essence de pyrolyse et de l'éthylène.** L'éthylène est produit par pyrolyse de concentrats de gaz naturel ou de fractions pétrolières comme des naphtas et des gazoles (25). L'essence de pyrolyse est un sous-produit liquide du procédé de vapocraquage; elle présente d'importantes concentrations de benzène, qui varient en fonction du type de charge d'alimentation. Certaines usines récupèrent de l'essence pour moteurs, des aromatiques (BTX) ou du benzène dans l'essence de pyrolyse, étant donné que sa teneur en benzène peut être élevée. En outre, du benzène peut être libéré par les usines d'éthylène qui produisent de l'essence de pyrolyse mais qui ne récupèrent pas le benzène, quoique celui-ci risque davantage de demeurer dans l'essence.

Au cours de la production d'éthylène à partir de naphta ou de gazole, les émissions d'hydrocarbures ou de benzène en provenance des évents ne sont pas importantes quand l'installation fonctionne normalement (25). Le tableau 5 donne les facteurs d'émission pour les sources de benzène dans les usines d'éthylène. Les facteurs d'émission ont été établis d'après des données fournies par les fabricants d'éthylène des États-Unis (23). La majorité des émissions de benzène des usines d'éthylène sont discontinues; elles se produisent pendant le démarrage ou l'arrêt des installations, durant des anomalies de fonctionnement ou dans des situations d'urgence. Dans les usines d'éthylène, des émissions fugitives de benzène peuvent provenir des pompes et de la robinetterie ou être libérées pendant le prélèvement d'échantillons ou l'analyse en continu du procédé. Le facteur d'émission du benzène pour les réservoirs de stockage a été établi à l'aide des équations AP-42 (25). Aucune donnée n'a été publiée en ce qui a trait aux émissions de benzène produites pendant la récupération de cette substance dans l'essence de pyrolyse. C'est principalement au moyen du brûlage à la torche qu'on peut éliminer les émissions discontinues de benzène.

En se fondant sur les facteurs d'émission présentés au tableau 5 et sur le volume d'éthylène produit en 1980 (1 420 kt) (26), on a évalué les émissions de benzène provenant des usines d'éthylène à 172 t.

**2.3.4 Distillation de l'huile légère des fours à coke.** Bien que le benzène soit surtout produit à partir du pétrole, un certain volume de cette substance est récupéré par distillation de l'huile légère des fours à coke. Certaines cokeries récupèrent l'huile légère mais ne procèdent pas forcément à son raffinage (27). On peut obtenir approximativement 11 à 18 L d'huile légère d'un four produisant 1 t de coke métallurgique. Voici la composition de l'huile légère : 50 à 85 % de benzène, 6 à 20 % de toluène, 1 à 7 % de xylène et 0,5 à 4 % de naphtha qualité solvant (28,29).

L'industrie des sous-produits du coke récupère divers éléments du gaz de cokéfaction, dont le goudron de houille, le brai, le sulfate d'ammonium, le naphtalène et l'huile légère. Étant donné que le gaz de four à coke contient du benzène, celui-ci peut être libéré par les usines à sous-produits du coke qui ne le récupèrent pas ou ne le raffinent pas. Au Canada, quatre aciéries sont dotées de fours à coke, mais les statistiques sur les sous-produits du coke provenant de ces installations sont incomplètes (27). Des facteurs d'émission ont été établis pour les usines à sous-produits du coke (28) (tableau 6).

TABLEAU 5 FACTEURS D'ÉMISSION DE BENZÈNE DANS UNE USINE D'ÉTHYLÈNE HYPOTHÉTIQUE (AVEC ET SANS MESURES ANTIPOLLUTION) (25)*

| Source | Facteur d'émission sans mesures anti-pollution (g/t)** | Facteur d'émission avec mesures anti-pollution (g/t)** | Mesures anti-pollution | Rendement (%) |
|---|---|---|---|---|
| **Orifices d'entrée de l'huile lubrifiante dans le compresseur** | | | | |
| Compresseur à un étage | 0,200 | - | Aucune | - |
| Compresseur à deux étages | 0,400 | - | Aucune | - |
| **Autres émissions au cours du fonctionnement normal de l'installation** | Aucune émission importante de benzène | - | - | - |
| **Émissions discontinues** | | 79,2 à 15,8 | Brûlage à la torche | 90 à 98 |
| Compresseur à un étage | 791,9 | | | |
| Compresseur à deux étages | 101,1 | 10,1 à 2,0 | | |
| **Réservoirs de stockage** | 147 | 22,1 | Réservoir à toit flottant | 85 |
| **Dôme de sel** | Aucune émission de benzène | | | |
| **Émissions fugitives** | 45,9 | 8,8 | Détection/ élimination de fuites | 80,9 |
| **Émissions secondaires** | 21,7 | - | Aucune | - |

* Les valeurs ont été établies pour une usine hypothétique se servant d'un combustible composé de 50 % de naphta et de 50 % de gazole et dont la capacité annuelle de production d'éthylène est de 544,2 kt.

** Les facteurs sont exprimés en g de benzène par tonne d'éthylène produite.

TABLEAU 6 FACTEURS D'ÉMISSION DE BENZÈNE DANS LES USINES À SOUS-PRODUITS DU COKE (28)

| Source | Facteur d'émission sans mesures antipollution (g/t) | Facteur d'émission avec mesures antipollution (g/t) | Mesures antipollution | Rendement de dépollution (%) |
|---|---|---|---|---|
| Tour de refroidissement | | | | |
| Refroidissement à l'eau | 270 | 51 | -Refroidisseur final du résidu de goudron | 81 |
| | | - | -Refroidisseur final de l'huile de rinçage | 100 |
| Résidu de goudron | 70 | - | -Refroidisseur final de l'huile de rinçage | 100 |
| Évent du condenseur à huile légère | 89 | 0,8 | -Gaz tampon entre le réservoir à gaz et le four à coke | 98 |
| Séparation du naphtalène | 87 | - | | - |
| Transformation du naphtalène | 20 | - | | - |
| Pot séparateur (goudron) | 95 | 1,9 | -Gaz tampon entre la canalisation principale et le four à coke | 98 |
| Séchage du goudron | 21 | 0,42 | -Gaz tampon entre la canalisation principale et le four à coke | 98 |
| | | 2,1 | -Épurateur de l'huile de rinçage | 90 |
| Décanteur de goudron | 77 | 3,9 | -Gaz tampon entre la canalisation principale et le four à coke | 95 |
| Stockage du goudron | 12 | 0,24 | -Gaz tampon entre la canalisation principale et le four à coke | 98 |
| | | 1,2 | -Épurateur de l'huile de rinçage | 90 |
| Bassin recueillant l'huile légère | 15 | 0,3 | -Bassin couvert | 98 |
| Stockage de l'huile légère | 5,8 | 0,12 | -Gaz tampon entre le réservoir à gaz et le four à coke | 98 |
| | | 0,58 | -Épurateur de l'huile de rinçage | 90 |
| Stockage des BTX | 5,8 | 0,12 | -Gaz tampon entre le réservoir à gaz et le four à coke | 98 |
| | | 0,58 | -Épurateur de l'huile de rinçage | 90 |
| Stockage du benzène | 5,8 | 0,12 | -Application d'une couverture d'azote ou de gaz naturel inerte | 98 |
| | | 0,58 | -Épurateur de l'huile de rinçage | 90 |
| Réservoir de circulation de la liqueur de lavage | 9 | 0,18 | -Gaz tampon entre la canalisation principale et le four à coke | 98 |
| Réservoir de la liqueur d'ammoniac en excès | 9 | 0,18 | -Gaz tampon entre la canalisation principale et le four à coke | 98 |
| | | | -Épurateur de l'huile de rinçage | 90 |
| Décanteur de l'huile de rinçage | 3,8 | 0,076 | -Gaz tampon entre le réservoir à gaz et le four à coke | 98 |
| Réservoir de circulation de l'huile de rinçage | 3,8 | 0,076 | -Gaz tampon entre le réservoir à gaz et le four à coke | 98 |

On a évalué les émissions de benzène provenant du fractionnement de l'huile légère en se servant de la production de coke métallurgique de 1987 (4 600 kt) (30) et d'un facteur d'émission de 248 g de benzène par tonne de coke (29). Le facteur d'émission a été dérivé de facteurs publiés concernant les usines à sous-produits du coke de la société Dofasco (tableau 6); il risque donc de ne pas être utilisable pour d'autres usines. Néanmoins, les émissions ont été évaluées par secteur et représentent environ 1 140 t.

**2.3.5 Émissions des installations produisant du benzène.** Comme il a été mentionné antérieurement, des émissions de benzène peuvent se produire au cours du fonctionnement des installations et du stockage. Les données relatives au benzène libéré pendant le fonctionnement des installations sont peu précises; toutefois, une estimation a été effectuée en fonction d'une perte de 0,1 %, soit de 1 g par kg de benzène produit. D'après le calcul, les émissions totales de benzène provenant de la production de cette substance est de 690 t.

On a évalué les émissions par province en tenant compte de la production des usines dans chacune des provinces.

On a estimé les pertes de benzène pendant le stockage au moyen des équations EPA/API présentées en annexe (A.1) (31), en présumant au départ que 90 % du benzène est stocké dans des réservoirs à toit fixe et que le reste est entreposé dans des réservoirs à toit flottant (4). Les émissions totales au cours du stockage ont été évaluées à 390 t.

Les émissions totales au cours de la production de benzène en 1985 ont été évaluées à 2 220 t, dont 51 % provenant de la distillation de l'huile légère des fours à coke.

En 1985, les émissions de benzène provenant de la production d'éthylène ont été estimées à 172 t. Cette valeur a été ajoutée au total des émissions dues à la production des substances chimiques.

## 2.4 Production de fer et d'acier primaires

Les procédés de fabrication du fer et de l'acier englobent la production de coke, la fabrication de fonte en gueuse dans des hauts fourneaux, la production d'acier au moyen de fours Martin, l'utilisation de convertisseurs à oxygène et de fours à arc électriques, le laminage et la finition. En 1985, les acieries canadiennes ont produit environ $15 \times 10^6$ t d'acier brut (32).

On a signalé la présence de composés organiques dans les émissions provenant des installations de production de fer ou d'acier (33), bien que l'on ne dispose d'aucune donnée concernant la teneur en benzène de ces émissions. De même, des facteurs d'émission de composés organiques ont été établis en ce qui concerne les fonderies de fer et l'industrie des ferro-alliages (tableau 7).

Parmi les sources potentielles de composés organiques, mentionnons la consommation de combustibles (combustion), la présence de composés organiques sur les déchets métalliques et l'utilisation de liants organiques dans la fabrication des boulettes et des agglomérés. Des émissions de composés organiques peuvent provenir des fonderies

car ces substances sont présentes dans les liants, les additifs, les huiles utilisées comme enduits et les peintures (34).

TABLEAU 7 RÉSUMÉ DES FACTEURS D'ÉMISSION DE COMPOSÉS ORGANIQUES DANS LES INDUSTRIES DU FER ET DE L'ACIER, DES FONDERIES DE FER ET DES FERRO-ALLIAGES (23)

| | Facteur d'émission normalisé de composés organiques (kg/t)* |
|---|---|
| **Fer et acier** | |
| Cokéfaction | 1,95 |
| Fabrication de fer dans des hauts fourneaux | 0,59 |
| Fabrication d'aggloméré | 1,6 |
| Fabrication d'acier au moyen de convertisseurs à oxygène | 0,0009 |
| Fabrication d'acier au moyen de fours à arc électriques | 0,04975 |
| Fabrication d'acier au moyen de fours Martin | 0,0094 |
| Façonnage à chaud et finition | 0,092 |
| **Fonderies de fer** | |
| Fusion dans des cubilots | 0,0975 |
| Fusion dans des fours à arc électriques | 0,08 |
| Inoculation | 0,00065 |
| Coulage et refroidissement du métal | 0,1045 |
| Décrochage des châssis | 0,945 |
| **Ferro-alliages** | |
| Fusion dans des fours à arc immergés à sole | |
| Alliages au silicium | 5,1 |
| Alliages au ferrosilicium | 0,93 |
| Alliages au ferromanganèse | 0,17 |
| Alliages au ferrochrome | 0,3225 |
| Fusion dans des fours à arc immergés étanches | |
| Alliages au ferrosilicium | 0,1125 |
| Alliages au ferromanganèse | 0,02395 |
| Alliages au ferrochrome | 0,0307 |

* Facteurs d'émission normalisés en kilogrammes par tonne de produits finis (c'est-à-dire ensemble des produits sidérurgiques, coulée nette et ferro-alliages totaux).

Le tableau 6 donne les facteurs d'émission du benzène des usines à sous-produits du coke. Au Canada, le coke métallurgique est produit dans les aciéries, et la majeure partie de l'huile légère et des goudrons obtenus comme sous-produits sont vendus à l'industrie chimique qui poursuit leur transformation (27).

Pendant le fonctionnement normal des fours à coke, des émissions peuvent se produire à divers points du cycle de cokéfaction et dans les gaz résiduaires évacués par la cheminée (34).

Le chargement peut entraîner des émissions plus ou moins importantes, qui dépendent principalement des caractéristiques du charbon et des méthodes d'exploitation. Des émissions fugitives peuvent provenir de fuites dans les canalisations, les orifices, la robinetterie et les portes.

Les émissions de benzène des usines à sous-produits peuvent provenir des sources suivantes dans le système de manutention de l'huile légère : joints des pompes, condenseurs, séparateurs, pots de séparation, évents des réservoirs de stockage et installations de chargement (tableau 8) (28).

Comme les données concernant les procédés de fabrication du fer et de l'acier sont incomplètes, il est impossible d'évaluer les émissions de benzène par type de procédé. On a donc évalué les émissions totales de benzène en se servant d'un facteur d'émission général de composés organiques volatils (COV) de 4 kg par tonne de charbon chargé (15) et d'un rapport benzène/hydrocarbures de 0,0223 dans les émissions de gaz (4). En 1985, environ 6 500 000 t de charbon ont été utilisées pour la production de coke, d'où des émissions totales de benzène estimées à 343 t.

## 2.5 Procédés chimiques utilisant du benzène et ses dérivés

La section qui suit traite des émissions au cours de l'utilisation du benzène comme combustible et comme solvant. On y présente les sources des émissions et les facteurs d'émission établis, et les émissions y sont quantifiées. Chaque procédé fait l'objet d'une brève description et, dans les cas pertinents, les mesures antipollution sont mentionnées.

En 1985, la demande nationale canadienne de benzène a été de 570 kt (35). La majeure partie de la production totale de benzène a servi à la fabrication d'éthylbenzène et de styrène. Le benzène a servi de charge d'alimentation pour la fabrication de substances chimiques d'importance, dont le cyclohexane, le cumène et l'anhydride maléique. La structure de la demande de benzène au Canada est illustrée à la figure 2.

TABLEAU 8 FACTEURS D'ÉMISSION DE BENZÈNE POUR LES FUITES DANS LES USINES À SOUS-PRODUITS DU COKE (28)

| Source | Facteur d'émission | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Sans mesures antipollution (kg/d) | | Avec mesures antipollution (kg/d) | | | |
| | Récupération de l'huile légère et des BTX | Récupération de l'huile légère, raffinage du benzène | Récupération de l'huile légère et des BTX | Récupération de l'huile légère, raffinage du benzène | Mesures antipollution | Rendement de dépollution (%) |
| Robinetterie | 0,18 | 0 22 | 0,07 | 0,08 | -Examen trimestriel | 63 |
| | | | 0,05 | 0,06 | -Examen mensuel | 72 |
| | | | - | - | -Vannes à soufflets hermétiques | 100 |
| Pompes | 1,9 | 2,3 | 0,5 | 0,7 | -Examen trimestriel | 71 |
| | | | 0,3 | 0,4 | -Examen mensuel | 83 |
| | | | - | - | -Joints mécaniques doubles | 100 |
| Systèmes d'évacuation | 0,28 | 0,28 | 0,126 | 0,126 | -Examen trimestriel | 55 |
| | | | 0,10 | 0,10 | -Examen mensuel | 64 |
| | | | - | - | -Orifice de sortie des gaz du réservoir | 100 |
| Limiteurs de pression | 2,7 | 3,4 | 1,5 | 1,9 | -Examen trimestriel | 44 |
| | | | 1,3 | 1,6 | -Examen mensuel | 52 |
| | | | - | - | -Système de plaque de rupture | 100 |
| Système de raccordement pour l'échantillonnage | 0,25 | 0,31 | - | - | -Échantillonnage à vidange fermée | 100 |
| Conduites ouvertes | 0,038 | 0,047 | - | - | -Bouchon ou capuchon | 100 |

Remarque : Les facteurs sont basés sur les émissions totales de COV des raffineries de pétrole et le pourcentage de benzène dans l'huile légère et le benzène raffiné (28).

**2.5.1 Éthylbenzène et styrène.** En 1985, on a utilisé 445 kt de benzène pour fabriquer au total 620 kt d'éthylbenzène (35,36). La demande de monomères du styrène pour la production d'éthylbenzène a été de 585 kt (36) tandis que la production totale de styrène s'est élevée à 500 kt (37). L'industrie de l'éthylbenzène est étroitement liée à l'industrie du styrène, étant donné que celui-ci est produit exclusivement à partir d'éthylbenzène. Il peut y avoir un entraînement d'environ 0,3 % (en poids) de benzène dans

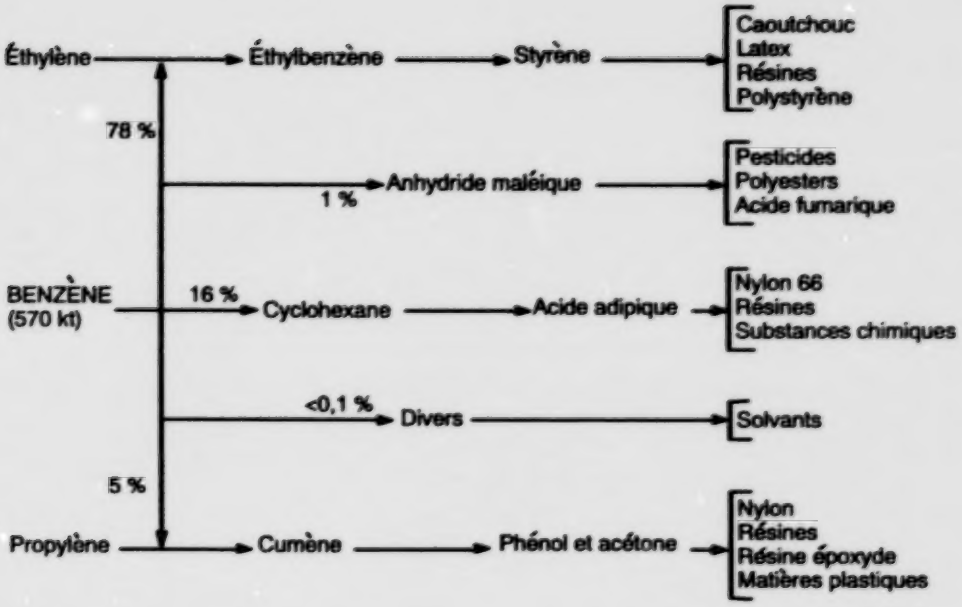



FIGURE 2 DEMANDE ET UTILISATION DE BENZÈNE AU CANADA (1985)

l'éthylbenzène et dans le styrène (38). En outre, une certaine quantité de benzène est reformée au cours de la production du styrène. Trois usines produisent de l'éthylbenzène et du styrène au Canada : celles des sociétés Polysar et Dow, situées à Sarnia (Ontario), et celle de la société Shell, située à Scotford (Alberta) (39).

**Description du procédé.** Étant donné que la majeure partie de la production d'éthylbenzène est intégrée à un procédé de déshydrogénation pour produire du styrène, ces deux procédés sont décrits ensemble ci-après. En voici les réactions fondamentales : alkylation catalytique du benzène avec l'éthylène pour produire de l'éthylbenzène, et déshydrogénation catalytique de l'éthylbenzène pour produire du styrène.

On fait sécher les charges fraîches de benzène et le benzène recyclé pour éliminer l'eau. On fait ensuite réagir le benzène et l'éthylène secs en se servant de chlorure d'aluminium comme catalyseur et de chlorure d'éthyle comme agent d'activation. Les produits de la réaction sont refroidis, puis on les fait passer dans un décanteur où le complexe catalyseur lourd est éliminé et renvoyé vers le réacteur d'alkylation.

L'étape suivante consiste à laver l'éthylbenzène brut du décanteur avec de l'eau et à le neutraliser au moyen d'une solution caustique. L'éthylbenzène brut est composé de 40 à 55 % de benzène, de 10 à 20 % de polyéthylbenzènes (PEB) et de

matières dont le point d'ébullition est élevé. Le benzène, l'éthylbenzène et les polyéthylbenzènes sont ensuite séparés dans une série de colonnes de distillation.

L'éthylbenzène épuré est chauffé dans un échangeur de chaleur. La vapeur qui s'en dégage est alors mélangée de façon continue avec de la vapeur d'eau à 710 °C dans le réacteur de déshydrogénation, qui contient un catalyseur sélectif. Les produits de la réaction sont refroidis, ce qui provoque la condensation de la vapeur d'eau, du styrène, du toluène et du benzène. Le mélange condensé passe enfin dans une série de colonnes de distillation pour produire du styrène, du benzène, du toluène, de l'éthylbenzène et du goudron.

**Sources d'émissions et mesures antipollution.** Les principales sources d'émissions du procédé sont les évents de la zone du réacteur d'alkylation, des colonnes d'aspiration et du séparateur d'hydrogène (40). Parmi les autres sources, mentionnons les pertes au cours du stockage et du transport et les émissions fugitives de la robinetterie et des fuites du système.

Les évents de la zone du réacteur éliminent divers gaz inertes ainsi que des aromatiques entraînés (benzène). Les gaz inertes comprennent l'azote ou le méthane utilisés pour la régulation de la pression, l'éthylène n'ayant pas réagi, des sous-produits de la réaction et des impuretés dans l'alimentation en éthylène. Dans les installations types, où l'on utilise comme catalyseur du chlorure d'aluminium en phase liquide avec de l'éthylène de grande pureté, on procède habituellement au refroidissement et à l'épuration des gaz évacués par les évents pour récupérer les aromatiques. Les évents à pression atmosphérique et ceux des colonnes éliminent les matières non combustibles des divers types d'alimentation des colonnes, les hydrocarbures aliphatiques légers et tous les composés aromatiques entraînés. La majorité des émissions sont libérées dans la première colonne de distillation (colonne de récupération du benzène). Les évents à aspiration éliminent l'air qui s'infiltre dans la colonne, les hydrocarbures légers et l'hydrogène qui se forment au cours de la déshydrogénation, les matières non combustibles dans la charge d'alimentation de la colonne et les aromatiques entraînés. On peut procéder au brûlage à la torche des gaz des évents, mais ce procédé n'est efficace (rendement de dépollution de 99 %) que lorsque le diamètre de la torchère est choisi en fonction de l'écoulement des gaz, de manière à obtenir une turbulence et un mélange optimaux. Il est préférable de faire en sorte que les gaz soient recueillis dans un collecteur et qu'ils soient brûlés avec d'autres combustibles. Il peut aussi se produire des émissions au cours du transport et du stockage du benzène, lorsqu'il n'est pas produit sur les lieux.

**Émissions.** Les facteurs d'émission présentés au tableau 9 ont été établis à partir d'une usine modèle d'une capacité de 300 kt (40). Les facteurs d'émission peuvent varier en fonction de la production de l'installation et des mesures antipollution prévues, et les valeurs présentées au tableau 9 ne sont représentatives d'aucune usine.

On a évalué les émissions en se fondant sur diverses hypothèses. En raison du manque de renseignements précis concernant les mesures antipollution actuelles, on a établi une moyenne entre les estimations des émissions pour les usines sans mesures antipollution et pour celles prévoyant certaines mesures antipollution. Les émissions totales de la production d'éthylbenzène et de styrène ont été évaluées à 2 260 t en 1985. Les émissions à l'échelle provinciale ont été estimées en fonction de la capacité totale des usines.

**2.5.2 Cyclohexane.** En 1985, la production de cyclohexane a été de 100 kt, exigeant une consommation de 90 kt de benzène. Toutefois, la fermeture des installations de la société Gulf Canada à Montréal à la fin de 1985 a éliminé deux des principaux marchés d'utilisation finale du benzène (cumène et cyclohexane) (41).

**Description du procédé.** Le cyclohexane est un produit de l'hydrogénation catalytique du benzène. L'alimentation des réacteurs catalytiques en benzène de grande pureté s'effectue en parallèle et leur alimentation en hydrogène se fait en série. Le procédé est réalisé en phase liquide : on met en contact du benzène, de l'hydrogène et du cyclohexane recyclé, en présence d'un catalyseur à base de nickel. À la sortie du séparateur éclair, le cyclohexane se dirige dans une colonne de distillation (stabilisateur) où s'effectue l'élimination du méthane, de l'éthane, des autres hydrocarbures légers et des gaz solubles. Le cyclohexane épuré dans le stabilisateur peut présenter un degré de pureté supérieur à 99,9 %.

**Sources d'émissions et mesures antipollution.** Il n'y a pas d'émissions quand les installations fonctionnent normalement (42). Au moment d'un arrêt, chaque évent est ouvert au besoin pendant la dépressurisation finale de l'équipement. Les concentrations de benzène dans l'équipement sont faibles, sauf dans les courants d'alimentation; par conséquent, on peut s'attendre à ce que les émissions de cette substance soient minimes, voire inexistantes, au moment de l'arrêt de l'installation.

Des fuites peuvent libérer du benzène et d'autres hydrocarbures. Les émissions fugitives des pompes, de la robinetterie et des compresseurs peuvent également contenir du benzène.

TABLEAU 9 FACTEURS D'ÉMISSION POUR LA PRODUCTION D'ÉTHYLBENZÈNE ET DE STYRÈNE PAR ALKYLATION ET DÉSHYDROGÉNATION

| Sources d'émissions | Sans mesures antipollution (g/kg) | Mesures antipollution | Rendement (%) | Avec mesures antipollution (g/kg) |
|---|---|---|---|---|
| Évents de la zone des réacteurs d'alkylation | 0,3 | Réchauffeur | 99,9+ | 0,0003 |
| Évents à pression atmosphérique | 1,2 | Torchère | 60 à 99 | 0,012 à 0,48 |
| Évent à aspiration de la colonne de benzène-toluène | 3,0 | Torchère | 60 à 99 | 0,03 à 1,2 |
| Autres évents à aspiration | 0,05 | Torchère | 60 à 99 | 0,0005 à 0,002 |
| Évent du séparateur d'hydrogène | 0,003 | Torchère | 60 à 99 | 0,00003 à 0,0012 |
| Stockage et manipulation | 0,57 | Toit flottant | 85 | 0,086 |
| | | Évacuation vers une torchère | 99 | 0,00057 |
| | | Condenseur d'évacuation refroidi | 80 | 0,114 |
| Émissions fugitives | 0,11 | Détection et correction | 74 | 0,029 |
| Émissions secondaires | 0,067 | Aucune | --- | 0,067 |

Remarque : Les facteurs d'émission sont exprimés en g de benzène par kg d'éthylbenzène ou de styrène produit.

Des émissions de benzène peuvent aussi se produire au cours du stockage. La manutention du catalyseur et le rejet des eaux usées de la colonne d'absorption constituent d'autres sources potentielles d'émissions. Pour lutter contre les émissions fugitives, un programme d'inspection et d'entretien doit être mis en oeuvre et, pour les installations de stockage, il faut prévoir des réservoirs à toit flottant interne.

**Émissions.** Des facteurs d'émission figurant au tableau 10 ont été établis pour une usine hypothétique d'une capacité de 150 kt et ne seront peut-être valables pour

aucune installation (23). L'estimation de 47 t d'émissions de benzène en 1985 repose sur les valeurs suivantes : production de 100 kt de cyclohexane et stockage de 90 kt de benzène.

TABLEAU 10 FACTEURS D'ÉMISSION DE BENZÈNE DANS LA PRODUCTION DU CYCLOHEXANE PAR HYDROGÉNATION DU BENZÈNE

| Source | Émissions sans mesures antipollution (g/t) | Émissions avec mesures antipollution (g/t) | Mesures antipollution | Efficacité de dépollution (%) |
|---|---|---|---|---|
| Stockage du benzène | 421 | 63,2 | Réservoirs à toit flottant interne | 85 |
| Émissions fugitives | 51,4 | 11,7 | Inspection et entretien | 80 |

**2.5.3 Cumène.** En 1985, on a utilisé 26 kt de benzène pour produire 38,5 kt de cumène (35,43). La fermeture, en 1985, des installations de la société Gulf Canada à Montréal a mis fin à la production de cumène au Canada (43).

**Description du procédé.** Le cumène est fabriqué par alkylation du benzène avec du propylène. On fait réagir du benzène et du propylène à des températures et à des pressions élevées en présence d'un catalyseur acide, habituellement de l'acide phosphorique solide. Le propylène et le benzène sont introduits dans un réservoir d'alimentation combiné sous pression, qui sert à alimenter le réacteur. À partir du réacteur, les sous-produits, les matières n'ayant pas réagi et le produit proprement dit sont séparés par distillation. On emploie trois colonnes de distillation, l'une servant à l'élimination du propane, l'autre à l'élimination du benzène n'ayant pas réagi (qui est recyclé), et la dernière à la récupération du cumène.

**Sources d'émissions et mesures antipollution.** Au cours de la catalyse au moyen de l'acide phosphorique solide, l'évent de la colonne de cumène constitue une source potentielle d'émissions de benzène. On emploie du méthane pour mettre le système sous pression. Ce méthane est finalement évacué par les évents et transporte d'autres vapeurs d'hydrocarbures.

**Émissions.** On a évalué les émissions en fonction d'une concentration de benzène dans l'évent de distillation de 38,5 % (en poids), relevée dans les documents

consultés, et d'un taux d'émission de COV de 0,03 kg par tonne de produit (23,33). En 1985, les émissions ont été évaluées à moins de 1 t.

**2.5.4 Phénol.** En 1985, on a produit 41 kt de phénol (44) dans deux provinces : la Colombie-Britannique et le Québec.

**Description du procédé.** Au Canada, le phénol est fabriqué au moyen de deux procédés distincts : peroxydation du cumène et oxydation du toluène. La fabrication de phénol par peroxydation du cumène s'effectue essentiellement en deux étapes. On introduit d'abord de l'air dans une émulsion de cumène épuré pour produire de l'hydroperoxyde de cumène. On ajoute ensuite de l'acide sulfurique dilué afin de cliver directement l'hydroperoxyde en phénol et en acétone. On sépare l'acétone par distillation et on récupère le phénol dans la colonne finale.

D'autre part, la transformation du toluène en phénol se fait en deux étapes d'oxydation au moyen d'air en phase liquide : 1) oxydation du toluène en acide benzoïque et 2) oxydation de l'acide benzoïque en phénol. Comme de faibles concentrations de benzène sont présentes dans le toluène, ce procédé peut donner lieu à des émissions.

**Sources d'émissions et mesures antipollution.** L'air résiduaire provenant du processus d'oxydation constitue la plus importante source d'émissions de benzène dans les installations de fabrication du phénol au moyen du procédé au cumène (38). Pour certaines sources, on a relevé des facteurs d'émission variant de 2 g de benzène par tonne de phénol, pour un évent de condenseur de postoxydation (23,38), à 15 kg de benzène par tonne de phénol.

**Émissions.** En 1985, on a évalué les émissions totales de benzène provenant de la production du phénol à 62 t, en se servant d'un facteur d'émission de 1,5 g de benzène par kg de phénol.

**2.5.5 Anhydride maléique.** En 1985, 8,5 kt de benzène ont servi à la production de 6,1 kt d'anhydride maléique (45).

**Description du procédé.** L'anhydride maléique est produit par oxydation du benzène en présence d'un catalyseur approprié. La réaction s'effectue en phase vapeur au moyen d'un catalyseur à base de pentoxyde de vanadium. Du benzène est mélangé avec un excès d'air chauffé au préalable avant d'être introduit dans un réacteur. Les dégagements gazeux, constitués d'anhydride et d'acide maléiques, d'oxydes de carbone, d'eau et de benzène, sont refroidis puis traversent un condenseur partiel et un séparateur, qui sépare la majeure partie de l'anhydride maléique des gaz non condensables. Le reste de l'acide

maléique brut est transformé en anhydride, et on procède à sa distillation comme dernière étape de purification.

**Sources d'émissions et mesures antipollution.** L'évent du condenseur de récupération du produit constitue la plus importante source d'émissions de benzène provenant de ce procédé. Les laveurs de gaz sont habituellement conçus de manière à récupérer l'anhydride maléique non condensé avant l'évacuation des gaz résiduaires dans l'atmosphère.

**Émissions.** On a évalué les émissions de benzène d'après les données relatives à la production canadienne d'anhydride maléique en 1985 et les facteurs d'émission publiés. On a signalé un facteur d'émission de 87 kg d'hydrocarbures par tonne d'anhydride maléique. Un profil de produit établi par l'Environmental Protection Agency des États-Unis (EPA) révèle que le benzène représente 16 % des émissions totales de COV. Les émissions totales de benzène ont été estimées à 85 t. On ne considère plus que les émissions de benzène des usines d'anhydride maléique sont importantes aux États-Unis, car on y produit actuellement cette substance à l'aide de butane (23).

**2.5.6 Solvants.** Bien qu'on ait couramment fait usage du benzène comme solvant industriel, de nombreux utilisateurs sensibilisés à sa toxicité l'ont généralement remplacé par d'autres solvants. On n'a pas déterminé quelles sont les industries qui se servent encore de benzène à cette fin, mais le tableau 11 énumère des industries qui en font peut-être encore usage et les produits finis qui en contiennent peut-être.

En 1985, la demande de benzène de sources diverses a atteint 500 t (35), et le principal utilisateur de cette substance a été l'industrie canadienne des peintures et des pigments, qui a consommé $5 \times 10^6$ L environ de solvants à base de benzène (c'est-à-dire des essences minérales et des naphtas, qui contiennent en moyenne 5 % (en volume) de benzène. Cette consommation correspond à environ 250 $m^3$ ou 220 t de benzène. Si l'on présume que la demande de benzène dans cette catégorie est entièrement relative à des solvants et que les émissions de solvants non halogénés sont pratiquement équivalentes au volume de solvants utilisé, une estimation prudente des émissions totales provenant de l'usage des solvants serait de 500 t.

## 2.6 Usines de bitume

L'asphalte mélangé à chaud est fabriqué en mélangeant des quantités précises d'agrégats comme du sable, des scories, des fragments de pierre ou du gravier avec de l'asphalte chaud.

TABLEAU 11 INDUSTRIES FAISANT PEUT-ÊTRE ENCORE USAGE DU BENZÈNE COMME SOLVANT ET PRODUITS FINIS CONTENANT PEUT-ÊTRE DU BENZÈNE

| | |
|---|---|
| - pneus en caoutchouc | - revêtements de sol |
| - produits divers en caoutchouc | - laboratoires |
| - fabrication des adhésifs | - dégraissage des meubles en métal et des métaux de première fusion |
| - encres hélioliquides | - fabrication des produits pharmaceutiques |
| - imprimerie et édition | - fabrication des alcools |
| - peintures commerciales et industrielles | - substances chimiques diverses produites en petit volume |
| - décapants de peintures | - synthèse organique générale |
| - caoutchouc synthétique | - textiles |

Remarque : Aux États-Unis, bon nombre de ces industries ont signalé qu'elles n'employaient plus de benzène comme solvant (23); toutefois, on ne sait pas quel volume de benzène est utilisé à cette fin au Canada.

On a relevé des émissions d'hydrocarbures dans les gaz d'évacuation (4), et des facteurs d'émission ont été établis pour certains procédés employés. Il s'agit des émissions des sécheurs rotatifs et des lieux de stockage et de celles provenant de la consommation de combustibles comme l'huile distillée ou le gaz naturel. Selon une étude, des concentrations de benzène inférieures à 3,24 ng/$m^3$ (46) peuvent être présentes dans les gaz de cheminée. On n'a toutefois pas évalué les émissions de benzène, car les données dont on disposait étaient incomplètes. Les émissions provenant de la consommation de combustibles dans les usines de bitume ont toutefois été classées parmi les émissions dues à la consommation industrielle de combustibles.

# 3 ÉMISSIONS DUES À LA CONSOMMATION DE COMBUSTIBLES

## 3.1 Sources fixes

Voici des exemples de sources fixes de combustion : chaudières industrielles et commerciales et chaudières des services et des établissements publics; incinérateurs commerciaux et des habitations; et dispositifs de chauffage, fours et fourneaux dans les usines. Les principaux combustibles fossiles utilisés dans ces installations sont le charbon, le mazout et le gaz naturel. Les sources fixes ont été classées dans quatre catégories : production d'électricité par les services publics, consommation industrielle, consommation commerciale et consommation dans le secteur de l'habitation.

De faibles quantités d'hydrocarbures, dont du benzène, sont produites et libérées pendant la combustion du charbon, du mazout, du gaz et du bois. Toutefois, en règle générale, les concentrations d'hydrocarbures produites au cours de la combustion sont infimes et n'atteignent des niveaux importants que si l'installation ne fonctionne pas adéquatement ou si elle est mal entretenue (23). S'il reste des hydrocarbures imbrûlés ou partiellement brûlés, il faut normalement augmenter le rendement de combustion de l'installation.

D'après les rapports, la teneur en aromatiques des huiles de distillation augmente : elle varie de 5 à 30 % et peut parfois atteindre des pourcentages plus élevés (8). Toutefois, seulement quelques mesures ont été effectuées et les données relatives aux émissions sont rarement représentatives, car un certain nombre de facteurs, comme l'âge du brûleur ou de la chaudière et leurs caractéristiques, ainsi que les paramètres d'allumage dans la zone de combustion, influent de façon marquée sur les émissions. Néanmoins, on a évalué les émissions en se fondant sur les renseignements disponibles.

**3.1.1 Production d'électricité par les services publics.** En 1985, la production totale d'énergie thermique se répartissait comme suit : 54,6 % pour les centrales alimentées au charbon, 4,9 % pour les installations alimentées au mazout, 1,3 % pour les installations alimentées au gaz naturel et 39,2 % pour les centrales nucléaires. La production hydro-électrique représentait 67,1 % de la production d'électricité, qui s'élevait à 446 413 GWh (47).

Deux systèmes de base sont utilisés pour la production d'énergie thermique à partir de combustibles fossiles : la production de vapeur et la combustion interne (turbine à gaz et moteurs alternatifs). Les générateurs sont chauffés au charbon, à l'huile lourde, au pétrole brut ou au gaz naturel (la production de vapeur peut être amorcée à l'aide

d'huile légère, de gaz naturel, de kérosène ou de carburant diesel), tandis que les moteurs alternatifs utilisent de l'huile légère, du gaz naturel, une combinaison des deux ou du carburant diesel.

On a évalué les émissions de benzène à l'aide des facteurs d'émission suivants : 0,1 mg par kg de combustible pour les centrales alimentées en charbon et 0,375 mg par kg de combustible pour les centrales alimentées en pétrole (48). Pour une chaudière au gaz naturel, on a établi un facteur d'émission de COV de 18 g/$10^6$ $m^3$ et une concentration de benzène de 4 % (en poids) (33). Une étude signale respectivement des émissions de benzène de 30 µg/$m^3$ dans les gaz d'évacuation d'une chaudière au pétrole et de 10 µg/$m^3$ dans ceux d'une chaudière au charbon (8).

On a évalué les émissions de benzène des centrales électriques à 4 t en 1985 en se servant des facteurs d'émission ci-dessus et des volumes de combustibles utilisés (39 388 kt de charbon, 1 160 000 $m^3$ d'huile lourde et 590 x $10^6$ $m^3$ de gaz naturel).

**3.1.2 Consommation industrielle.** En 1985, environ 1 676 000 t de charbon, 2 994 700 $m^3$ d'huile lourde, 634 000 $m^3$ d'huile légère et 19 x $10^9$ $m^3$ de gaz naturel ont servi à des fins industrielles (49).

Aucun résultat d'essai n'a été relevé en ce qui concerne les émissions des chaudières industrielles; toutefois, en présumant que ces émissions sont semblables à celles des installations des services publics, on a évalué les émissions de benzène à 1 t en 1985.

**3.1.3 Consommation commerciale.** En 1985, environ 36 000 t de charbon, 338 $m^3$ d'huile lourde, 1 217 000 $m^3$ huile légère et 10 734 400 x $10^3$ $m^3$ de gaz naturel ont servi à alimenter les chaudières commerciales (49).

Comme pour les chaudières industrielles, on n'a relevé aucun résultat d'essai au sujet des émissions de cette source. En ayant recours aux facteurs d'émission utilisés pour les chaudières des services publics, on a évalué les émissions des chaudières commerciales à moins 1 t en 1985.

**3.1.4 Consommation dans le secteur de l'habitation.** Environ 182 000 t de charbon, 95 100 $m^3$ d'huile lourde, 4 881 600 $m^3$ d'huile légère, 13,33 x $10^9$ $m^3$ de gaz naturel et 6 244 000 t de bois ont servi au chauffage des habitations au Canada en 1985 (49, 50).

Les émissions de benzène provenant de la combustion du charbon et du gaz naturel ont été évaluées au moyen des facteurs d'émission présentés antérieurement. On a relevé des facteurs d'émission pour les chaudières des habitations dans les documents consultés : ils variaient de 0,34 à 29,5 mg/kg (8). D'après l'office national de protection

de l'environnement de la Suède, la combustion du bois de chauffage dans les habitations peut libérer des émissions de benzène variant de 1 à 100 mg/m$^3$ dans les gaz de cheminée (8). Ces concentrations sont de 100 à 10 000 fois plus élevées que celles signalées pour les centrales alimentées au charbon (48). En utilisant le facteur d'émission du benzène de 0,1 mg/kg pour les centrales alimentées au charbon, on a établi des facteurs d'émission qui varient de 0,005 à 0,5 g/kg. D'autres sources ont signalé des émissions de benzène provenant de la combustion du bois de chauffage de 0,042 à 3,06 g/kg, valeurs reposant sur des facteurs d'émission d'hydrocarbures de 0,7 à 51 g/kg et une concentration de benzène de 6 % (15,18,33).

Les émissions de benzène provenant de la combustion du bois de chauffage dans le secteur de l'habitation sont importantes et peuvent varier de 300 à 6 000 t. Il est impossible d'évaluer ces émissions avec plus de précision compte tenu des données disponibles; cependant, selon un jugement technique, on peut évaluer les émissions totales à 1 400 t.

Une analyse détaillée ainsi que les hypothèses qui ont été formulées pour les calculs sont présentées en annexe (A.2.1). Les émissions ont été évaluées pour quatre types de poêles à bois utilisés couramment. Les facteurs d'émission pour chacun d'entre eux ont été établis d'après une plage de valeurs signalée dans la documentation consultée.

Les valeurs présentées ne sont que de simples estimations, et des tests supplémentaires sont recommandés afin de vérifier les résultats.

## 3.2 Sources mobiles

**3.2.1 Véhicules routiers à moteur à essence.** Les émissions de tous les véhicules à essence utilisés sur les voies publiques, dont les voitures, les camions, les autobus et les motocyclettes, font l'objet de la présente section.

Aucun benzène n'entre dans la fabrication de l'essence; cette substance se forme au cours de la production de celle-ci soit pendant le reformage catalytique, soit durant la vapocraquage. Le reformage catalytique, qui constitue le plus important procédé d'élaboration des composantes de l'essence à indice d'octane élevé, produit du benzène au cours de la réaction qui permet d'augmenter l'indice d'octane du naphta utilisé comme charge d'alimentation. Les techniques actuelles de raffinage provoquent inévitablement la formation de benzène. Le reformat du procédé peut présenter une concentration de benzène de 1 à 11 % (en volume) (51). En outre, le pétrole brut comporte de faibles concentrations naturelles de benzène.

L'essence à moteur est également produite, bien qu'en quantité minime, comme sous-produit de l'industrie pétrochimique. Au cours du vapocraquage de la

fraction de naphta du pétrole brut pour obtenir de l'éthylène, on produit de l'essence de craquage (ou essence de pyrolyse) présentant une forte teneur en benzène (20 à 50 %) (50,51). Il s'agit des principales sources de benzène pour ce qui est des divers types d'essence. La teneur en benzène de l'essence peut varier de façon marquée en fonction de nombreux facteurs, dont les suivants :

1) les caractéristiques, particulièrement les indices d'octane, des essences et le rapport supercarburant/carburant ordinaire;
2) le type de pétrole brut employé;
3) le type de procédé employé pour la production d'essence à la raffinerie;
4) le pourcentage d'essence à moteur dans la totalité des produits de raffinerie;
5) le benzène extrait;
6) la teneur en plomb alkylé permise.

Au Canada, la teneur en benzène de l'essence peut varier de 0,8 % à 5 % (en volume) (4).

**Sources d'émissions et mesures antipollution.** Dans les véhicules à essence, des émissions d'hydrocarbures peuvent provenir du carburateur (évaporation), du réservoir à carburant (évents), du carter (parce que les segments ne constituent pas un joint parfaitement étanche entre la chambre de combustion et le carter) et du système d'échappement du moteur (23). L'importance des émissions de benzène de ces sources dépend du type d'essence employé. Si, par exemple, le carburant contient de l'éthylbenzène, une combustion incomplète peut provoquer sa transformation en benzène (53). De surcroît, certains signes permettent de croire qu'il se produit une désalkylation du toluène libérant de faibles concentrations de benzène (54). Certaines études ont révélé que la fraction de benzène des émissions d'hydrocarbures dans les gaz d'échappement augmente proportionnellement à la teneur en benzène de l'essence et que, si l'on accroît la teneur en aromatiques du carburant tout en maintenant sa concentration de benzène, on provoque un accroissement de la teneur en benzène des émissions d'hydrocarbures (12). Cette dernière observation est d'un intérêt particulier, car elle donne à penser que les aromatiques à poids moléculaire élevé sont des précurseurs du benzène. Ces deux variables semblent avoir un effet additif sur les émissions de benzène dans les gaz d'échappement (12). En outre, selon toute vraisemblance, plus de 50 % des émissions de benzène provenant des véhicules à moteur se produisent au cours de la combustion de l'essence et ne sont pas dues à la teneur en benzène du carburant (12,51). La fraction de benzène dans les gaz d'échappement varie en fonction du type de véhicule,

de carburant et de dispositif antipollution, mais elle se limite généralement à une plage de 2 à 5 % (12,55). La fraction de benzène dans les émissions dues à l'évaporation dépend aussi des dispositifs antipollution (par exemple, si le véhicule est doté d'un moteur à injection ou d'un carburateur) et de la composition du carburant (par exemple, teneur en benzène et tension de vapeur Reid); elle varie généralement de 1 à 3 %.

Il existe des dispositifs pour réduire tant les émissions de benzène provenant de l'évaporation que celles provenant des gaz d'échappement. Le recyclage des gaz de carter et les systèmes de contrôle de l'évaporation de carburant permettent de réduire les émissions de benzène dues à l'évaporation. Les systèmes de recyclage des gaz de carter procurent une circulation d'air dans ce dernier; ils récupèrent les gaz perdus puis les renvoient aux collecteurs d'admission, où ils pénètrent dans la chambre de combustion. Un système d'absorption/régénération, l'un des systèmes les plus couramment employés pour contrôler l'évaporation du carburant, piège les vapeurs au moyen d'une cartouche filtrante de charbon activé puis les renvoie à la chambre de combustion.

**Émissions.** Au cours de plusieurs études récentes, réalisées au moyen des procédures fédérales d'essai des États-Unis et prévoyant diverses techniques antipollution, on a tenu compte du fait que les émissions de benzène dans les gaz d'échappement des véhicules pouvaient différer pour la circulation sur les autoroutes urbaines et pour la conduite de ville. Les résultats de ces études ont servi à évaluer les émissions; ils sont présentés en annexe (A.2.2), ainsi que les calculs qui ont été effectués.

On n'a pas évalué les émissions de benzène au Canada en se fondant exclusivement sur des données provenant des États-Unis. On a eu recours au Mobile 3C, un modèle informatique du parc automobile canadien, pour calculer les émissions d'hydrocarbures qui ont servi à évaluer les émissions de benzène.

Pour les calculs, on a utilisé les résultats d'analyses en laboratoire effectuées par Environnement Canada, selon lesquelles les essences au plomb, sans plomb et super sans plomb présentaient respectivement des concentrations moyennes de benzène de 1,5, 2,0 et 2,7 % (en volume) au Canada; on a aussi établi des rapports entre les émissions de benzène et celles d'hydrocarbures dues aux gaz d'échappement et à l'évaporation, en plus de supposer une concentration d'aromatiques dans l'essence de 25 % (en volume), et on a utilisé le modèle informatique Mobile 3C. Les émissions totales de benzène en 1985 ont ainsi pu être estimées à 21 916 t. Cette valeur est comparable aux estimations obtenues à partir du degré d'intégration de la technologie, de rapports benzène/monoxyde de carbone et d'équations pronostiques (6).

**3.2.2 Utilisations hors-route.** Il s'agit de la consommation d'essence des machines utilisées en construction, en agriculture et en foresterie et des machines d'usage général, ce qui exclut les véhicules routiers à moteur. Environ 6 % de l'essence vendue au Canada a été utilisée pour le fonctionnement de ces machines.

D'après les chiffres fournis par Statistique Canada (56), la consommation d'essence a atteint environ $2 \times 10^9$ L.

On s'est servi d'un facteur moyen d'émission d'hydrocarbures de 24,10 kg/m$^3$ (57) et d'un rapport benzène/hydrocarbures de 0,035 (55,58) pour évaluer les émissions totales de benzène de cette source en 1985, qui ont atteint 1 730 t.

**3.2.3 Aéronefs.** Deux grandes catégories d'aéronefs sont examinées dans la présente section : ceux à moteur alternatif (pistons) et ceux à turbine à gaz. Ces deux types d'aéronefs sont classés en sous-catégories en fonction de la taille de l'appareil et du moteur le plus couramment utilisé pour chaque catégorie. Les types d'aéronefs suivants ont été retenus : avions à réaction, à turbopropulseurs et à moteur à pistons, et hélicoptères.

Bien que les données abondent au sujet des émissions d'hydrocarbures, on n'a relevé qu'une source traitant des émissions de benzène. Les concentrations de benzène représentaient 1,93 % (en poids) des émissions d'hydrocarbures des aéronefs servant à des fins commerciales, et ce pourcentage passait à 2,93 % (en poids) pour les aéronefs d'usage général (33). Les émissions d'hydrocarbures ont été calculées d'après les renseignements de l'EPA au sujet des appareils en vol et à l'atterrissage (57).

En 1985, les émissions totales d'hydrocarbures provenant des aéronefs ont atteint 11 500 t (59). En supposant que les émissions de benzène représentaient 2,5 % de ce total (33), on les a évaluées à 288 t pour 1985.

**3.2.4 Transport ferroviaire.** Les émissions provenant du transport ferroviaire ont été calculées d'après les volumes de carburant consommés pour la production d'énergie destinée à la locomotion. Seul le carburant diesel a été retenu. Les émissions de 1985 ont été évaluées en fonction d'un rapport benzène/hydrocarbures de 0,0073 (60), d'un facteur d'émission d'hydrocarbures de 4,9 kg/m$^3$ (57) et d'une consommation de carburant diesel pour le transport ferroviaire de $2\ 210 \times 10^6$ L (49). Les émissions totales de benzène de cette source ont été évaluées à 80 t.

**3.2.5 Transport maritime.** Dans le secteur du transport maritime, on a tenu compte des bateaux à carburant diesel et des bateaux hors-bord à essence. Pour évaluer les

émissions, on a employé un rapport hypothétique benzène/hydrocarbures de 0,0073 (identique à celui établi pour les moteurs diesel utilisés pour le transport ferroviaire) et on l'a appliqué aux émissions totales d'hydrocarbures (un exemple de calcul est présenté en annexe, A.2.2). Les émissions totales de benzène provenant de l'utilisation de carburant diesel ont été évaluées à 30 t.

Pour les moteurs hors-bord, on a utilisé un facteur d'émission d'hydrocarbures de 115,6 g/kWh (57), et on a supposé une utilisation moyenne de 6,8 kW et de 50 h et un pourcentage de benzène dans les gaz d'échappement de 2,5 %. Comme aucun résultat d'essai n'a été publié en ce qui concerne les émissions de benzène provenant des moteurs hors-bord, il importe d'interpréter les résultats avec prudence. Pour 1985, les émissions totales de benzène provenant des moteurs hors-bord ont été évaluées à 670 t.

**3.2.6 Véhicules routiers à moteur diesel.** On a évalué les émissions de benzène provenant de tous les types de véhicules routiers à diesel utilisés sur les voies publiques, dont les voitures, les camions et les autobus, en utilisant les émissions d'hydrocarbures de ces sources (annexe, A.2.2) et un rapport benzène/hydrocarbures de 0,019. Pour 1985, les émissions de ces sources ont été estimées à 716 t (15,57,58).

**3.2.7 Autres véhicules à moteur diesel.** On a estimé les émissions de benzène provenant des moteurs diesel utilisés dans les secteurs de l'exploitation minière et forestière, de la fabrication, de l'administration publique, de la construction et de l'agriculture en appliquant les facteurs d'émission d'hydrocarbures établis dans la publication AP-42 aux véhicules qui, d'après les hypothèses retenues, étaient employés dans chacun des secteurs (annexe, A.2.2). On a présumé que le rapport benzène/hydrocarbures était de 0,019 (identique à celui retenu pour le secteur des véhicules routiers à moteur diesel (15,57,58). On a ainsi obtenu une estimation des émissions totales de benzène de cette source de 465 t.

# 4 ÉMISSIONS PROVENANT DE L'INCINÉRATION DES DÉCHETS

## 4.1 Incinération des déchets urbains

L'incinération des déchets urbains est un procédé qui consiste à réduire le volume des déchets solides par brûlage. Certaines installations se prêtent mieux à l'incinération de déchets présentant des caractéristiques physiques particulières. Les installations types utilisées pour l'incinération des déchets urbains sont des fours à garnissage réfractaire ou à parois refroidies à l'eau, pourvus d'une grille sur laquelle les déchets sont brûlés.

Les renseignements dont on dispose en ce qui concerne les émissions de benzène provenant des incinérateurs sont très limités. On a relevé la présence de benzène, ainsi que de toluène, de chloroforme, de naphtalène et de tétrachloroéthylène, dans les émissions atmosphériques provenant des incinérateurs de déchets dangereux (61). Plusieurs hypothèses ont été formulées pour expliquer la présence répandue de benzène dans ces émissions : en raison de la faible concentration du benzène et d'autres composés dans les déchets, le rendement de destruction de ces composés est peut-être faible; les composés proviennent peut-être de sources autres que les déchets; les composés sont peut-être produits au cours de certaines réactions de combustion. Aucun facteur d'émission n'a été publié, bien que l'on signale une teneur en benzène des gaz de cheminée variant de 12 à 670 $pg/m^3$.

Un rapport traitant des émissions de l'incinérateur de déchets d'un hôpital a révélé que cette installation produisait des émissions de benzène variant de 45,5 à 181,8 g/h (23). La vitesse moyenne de chargement des déchets dans l'incinérateur à deux chambres était de 356 kg/h pendant les essais. Les déchets étaient composés de 10 % d'humidité, de 30 % de matières plastiques, de 65 % de papier et de 5 % d'autres matières. D'après ces données, un facteur d'émission de 0,128 g de benzène par kg de déchets incinérés a été établi.

En 1985, environ 909 000 t de déchets ont été éliminés au moyen d'incinérateurs au Canada (62). Les émissions totales de benzène provenant de l'incinération des déchets urbains en 1985 ont été évaluées à 116 t*.

---

* Une mise en garde doit être faite concernant ce résultat, car on n'a tenu compte ni des caractéristiques de fonctionnement ni du type de déchets d'un incinérateur donné pour obtenir cette estimation.

## 4.2 Incinération des boues d'égout

Comme dans le cas de l'incinération de déchets urbains, les émissions sont fonction de la concentration de benzène dans les boues d'égout et des caractéristiques de fonctionnement de l'incinérateur employé. Aucune donnée n'a été relevée concernant les émissions de benzène de cette source; on n'a donc pu les évaluer pour 1985. Au Canada, environ 111 000 t de boues d'égout ont été incinérées en 1985 (62).

# 5 ÉMISSIONS DE SOURCES DIVERSES

## 5.1 Commercialisation de l'essence

Le stockage et la distribution de l'essence représentent des sources potentielles d'émissions d'hydrocarbures. Étant donné qu'il est une composante de l'essence, le benzène peut également être libéré à partir de ces sources. En conséquence, les émissions totales d'hydrocarbures provenant des réservoirs de stockage, du transfert de l'essence et du ravitaillement des véhicules contiennent du benzène.

Un schéma général du système de commercialisation de l'essence au Canada est présenté à la figure 3 (63). À partir de la raffinerie, l'essence peut être transportée par camion-citerne, par wagon-citerne, par pipeline ou par navire jusqu'à des stations intermédiaires (terminaux pour le transport en vrac ou terminaux de commercialisation) ou directement aux stations-service ou aux utilisateurs commerciaux. À partir des terminaux, l'essence est tranférée à des installations de stockage en vrac par wagon-citerne ou par camion-citerne. Enfin, des camions-citernes servent à la livraison de l'essence aux stations-service ou aux utilisateurs commerciaux.

Chaque opération de transfert ou de stockage de l'essence constitue une source potentielle d'émissions de benzène. Dans les terminaux pour le transport en vrac et les installations de stockage en vrac, des émissions de benzène peuvent se produire au cours du chargement, du déchargement et du stockage de l'essence. Le transport de l'essence par pipeline n'est pas considéré comme une source importante d'émissions.

Le chargement des camions-citernes s'effectue normalement de deux façons : par alimentation en surface ou par alimentation immergée. L'alimentation en surface consiste à introduire l'essence directement dans le camion-citerne, en passant par un compartiment situé sur la partie supérieure du véhicule; il peut donc y avoir d'importantes pertes par évaporation. L'alimentation immergée consiste à introduire l'essence sous la surface du liquide dans le réservoir, ce qui réduit ce type de perte.

Les émissions au cours du stockage du benzène dans les terminaux pour le transport en vrac et les installations de stockage en vrac dépendent du type de réservoir employé. Les émissions dues aux pertes des réservoirs de commercialisation ont été évaluées à l'aide d'un facteur d'émission général d'hydrocarbures de 0,34 kg/$m^3$ (63).

Dans les stations-service, des émissions d'hydrocarbures se produisent quand les vapeurs du réservoir de stockage souterrain sont libérées au cours du déchargement des camions-citernes. Des émissions peuvent aussi être provoquées par la respiration des réservoirs souterrains et se produire au cours du ravitaillement des véhicules.

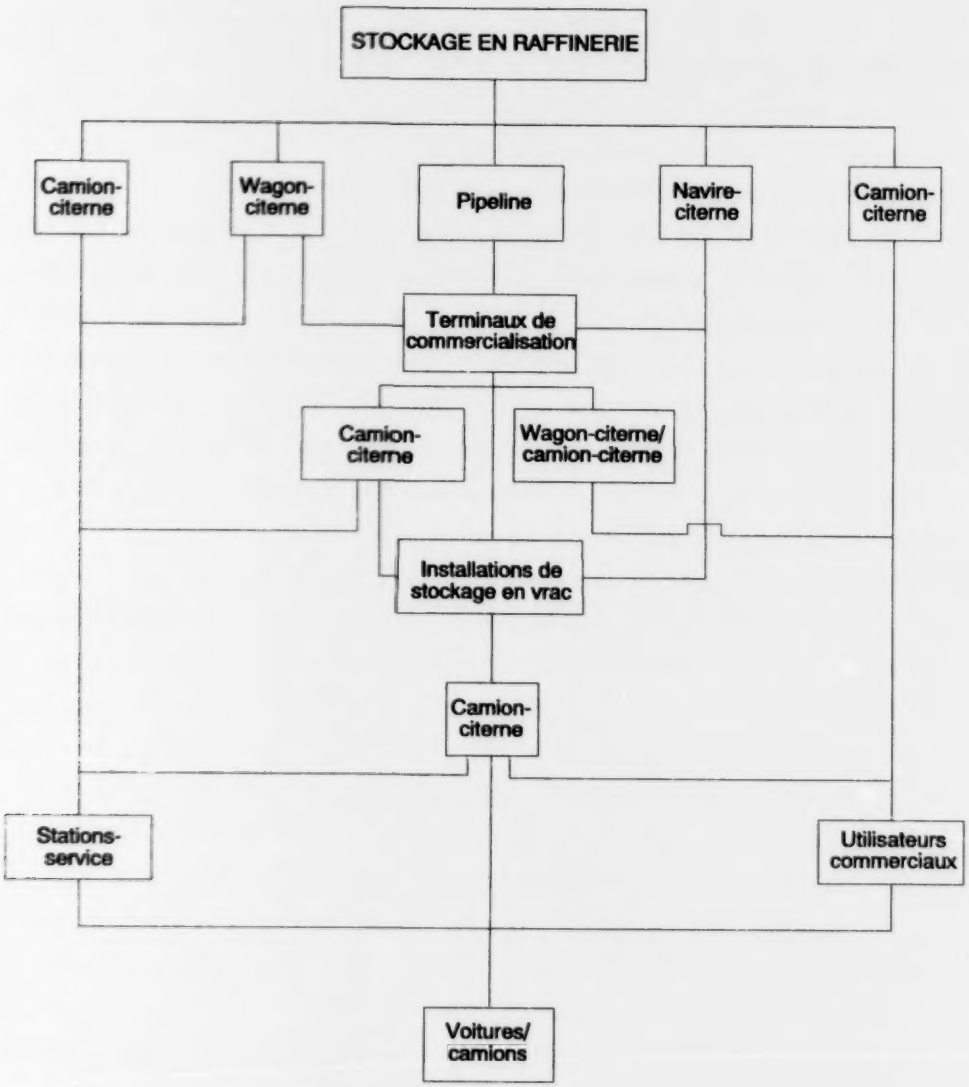



FIGURE 3 SYSTÈME DE DISTRIBUTION DE L'ESSENCE AU CANADA

On a évalué les émissions de benzène à l'aide des facteurs d'émission d'hydrocarbures présentés au tableau 12, d'un rapport benzène/COV de 0,006 ainsi que des données concernant la commercialisation de l'essence fournies par Statistique Canada (49,57,64). Plusieurs hypothèses ont été formulées afin de produire des estimations à l'échelle des provinces. La méthode d'alimentation immergée a servi pour 90 % des livraisons et la méthode d'alimentation en surface pour 10 %. Voici les pourcentages hypothétiques retenus pour le transport de l'essence aux terminaux de commercialisation : Maritimes, 50 %; Québec et Ontario, 10 %; Prairies, 0 %; et Colombie-Britannique, 15 %. On a tenu compte des activités de chargement et de déchargement et présumé que les pertes au cours du transport étaient de 0,32 kg/m$^3$. On a supposé que les réservoirs souterrains étaient chargés par alimentation immergée et que le ravitaillement des véhicules s'effectuait par des méthodes normales. Des calculs détaillés sont présentés en annexe (A.3).

Les émissions totales de benzène provenant de la commercialisation de l'essence ont été évaluées à 654 t en 1985.

## 5.2 Chargement et déchargement du benzène

Lorsqu'il n'est pas acheminé par pipeline, le benzène est principalement transporté par camion-citerne, par wagon-citerne et par navire-citerne. Comme dans le cas de l'essence, on a supposé que les émissions se produisent surtout au cours du chargement et du déchargement. Elles peuvent être libérées au cours du chargement par le haut (alimentation en surface ou alimentation immergée) ou par le fond des véhicules servant au transport ou prendre la forme de pertes dues à l'évaporation lorsqu'il y a déversement en raison du remplissage excessif des wagons-citernes ou d'un rejet accidentel du contenu des conduites de transfert. Le volume exact de benzène transporté par chacun des modes de transport n'était pas connu. Toutefois, pour estimer les émissions, on a formulé diverses hypothèses. D'abord, dans les trois provinces qui produisent du benzène, les producteurs et les utilisateurs sont situés à proximité les uns des autres; on a donc supposé que tout le benzène produit, sauf 10 kt, a été transporté par pipeline. En outre, on a présumé que toutes les exportations de benzène ont été effectuées soit par camion, soit par navire. Le volume total de benzène transporté a donc été évalué à 142 kt (35,36,37), et on a supposé que 86 % du benzène a été transporté par navire et 14 % par camion (35). Des facteurs d'émission de 0,092 kg/m$^3$ pour le chargement des wagons-citernes et des camions-citernes et de 0,15 kg/m$^3$ pour le chargement des navires-citernes ont été utilisés pour évaluer les émissions (60,65). Les émissions totales de cette source ont été estimées à 25 t.

TABLEAU 12 FACTEURS D'ÉMISSION DANS LA COMMERCIALISATION DE L'ESSENCE

| Source | | Facteurs d'émission (kg/$10^3$ L) |
|---|---|---|
| **Wagons-citernes et camions-citernes** | | |
| Chargement | Alimentation immergée | 0,59 |
| | Alimentation immergée et maintien d'une tension de vapeur constante | 0,98 |
| | Alimentation en surface | 1,43 |
| | Alimentation en surface et maintien d'une tension de vapeur constante | 0,98 |
| Pertes au cours du transport | Réservoirs chargés (essence) | 0 à 0,001 |
| | Réservoirs vides (contenant des vapeurs) | 0 à 0,013 |
| **Navires-citernes** | | |
| Chargement | Réservoirs non nettoyés | 0,315 |
| | Réservoirs lestés | 0,205 |
| | Réservoir nettoyés | 0,180 |
| | Réservoirs dépourvus de gaz | 0,085 |
| | Conditions types dans l'ensemble* | 0,215 |
| Lestage | | 0,100 |
| Pertes au cours du transport | | 0,320 |
| Remplissage des réservoirs souterrains | Alimentation immergée | 0,880 |
| | Alimentation en surface | 1,380 |
| | Alimentation immergée et maintien d'une tension de vapeur constante | 0,040 |
| Respiration des réservoirs souterrains | | 0,120 |
| Ravitaillement des véhicules | Normal | 1,375 |
| | Avec récupération des vapeurs | 0,132 |
| | Déversements | 0,080 |

* Les pourcentages suivants ont été présumés : réservoirs non nettoyés, 41 %; réservoirs ballastés, 11 %; réservoirs nettoyés, 24 %; réservoirs dépourvus de gaz, 24 %.

## 6 TENDANCES DES ÉMISSIONS

Les sources mobiles contribuent fortement aux émissions de benzène : elles en représentent presque 80 %. Les deux autres sources d'importance, à savoir la fabrication des produits chimiques et le raffinage du pétrole, produisent 12 % des émissions totales de benzène.

Bien que la demande de benzène comme charge d'alimentation ait augmenté de plus de 100 % de 1976 à 1985 (passant de 262 kt à 570 kt), les émissions n'ont pas suivi la même tendance. Cependant, il est difficile d'effectuer des comparaisons avec les estimations antérieures, car des méthodes de calcul différentes ont été employées. Dans le présent rapport, les émissions provenant des procédés chimiques ont été évaluées d'après les résultats de tests disponibles, tandis que l'inventaire antérieur était basé exclusivement sur les estimations fournies par l'industrie chimique, dont les sources et les méthodes de détermination sont inconnues (66). Néanmoins, on a pu observer une nette tendance en ce qui concerne les émissions de benzène, laquelle suit généralement celle des émissions provenant des véhicules à moteur à essence.

À l'heure actuelle, les sources mobiles d'émissions représentent environ 50 % des émissions totales d'hydrocarbures, ce qui représente une baisse de 10 % par rapport aux valeurs de 1970. Sur le total des émissions de ces sources, environ 80 % sont produites par des véhicules routiers à moteur (dont 60 % par des voitures).

Les estimations antérieures et futures des émissions de benzène ainsi qu'une comparaison de celles-ci avec les émissions totales d'hydrocarbures sont présentées à la figure 4.

De 1970 à 1980, la tendance des émissions de benzène était très semblable à celle des émissions totales d'hydrocarbures. L'augmentation des émissions de 1970 à 1975 tient à ce que le taux d'accroissement du nombre de véhicules a dépassé le taux moyen d'amélioration des mesures antipollution du parc de véhicules. Les nombres de voitures et de camions légers à essence ont augmenté respectivement de 34 % et de 56 %, tandis que les facteurs d'émission moyens de ces véhicules n'ont diminué respectivement que de 24 % et de 19 %. En conséquence, les émissions d'hydrocarbures ont augmenté d'environ 6 %, tandis que celles de benzène ont augmenté de 4 %.

Pendant cette période, la réduction des émissions d'hydrocarbures et, par conséquent, de benzène, n'a pu être réalisée que par les méthodes suivantes : réglage de la carburation, calage de l'allumage et injection d'air dans le collecteur d'échappement.

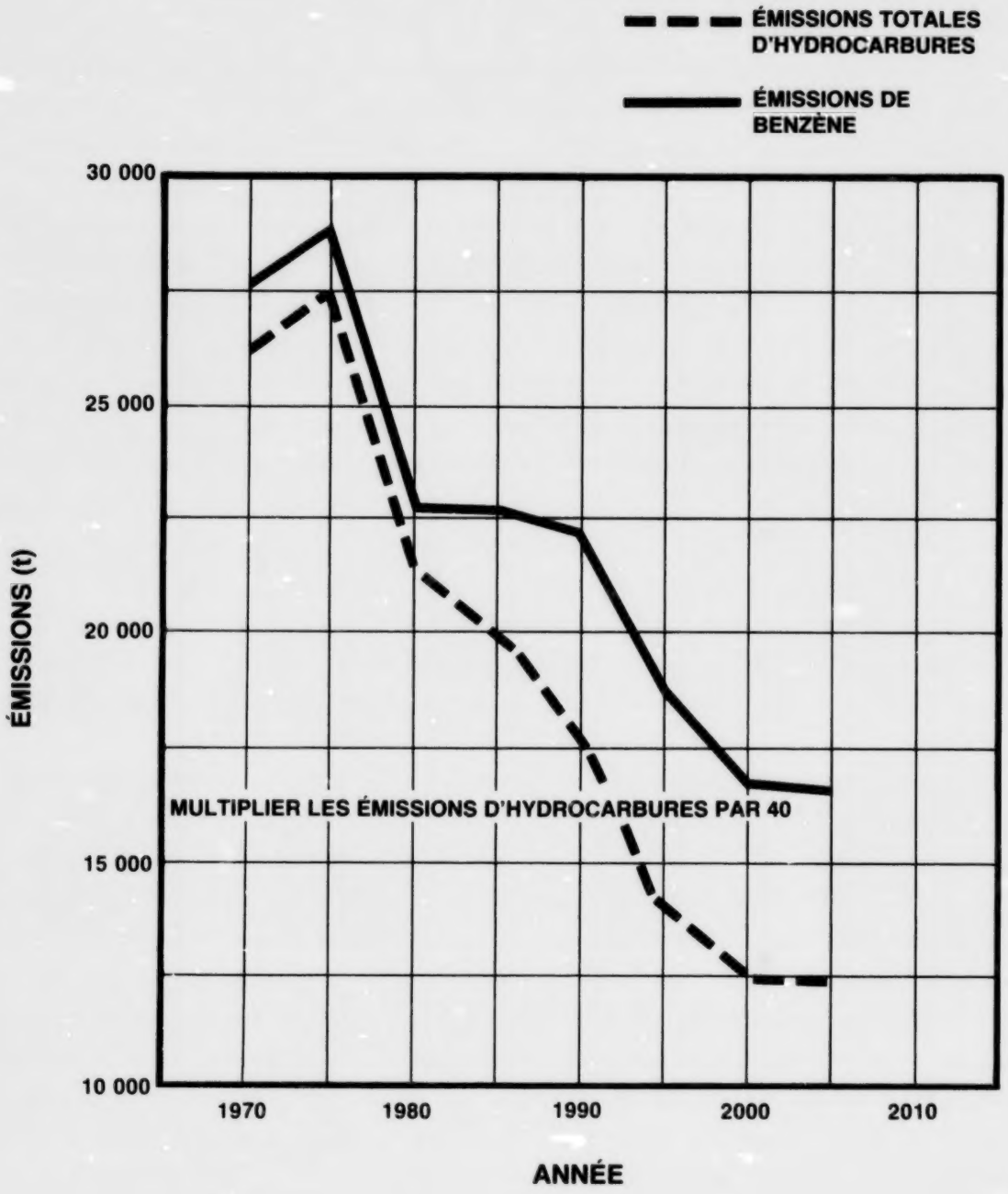



FIGURE 4 TENDANCES ET PRÉVISIONS RELATIVES AUX ÉMISSIONS DES VÉHICULES ROUTIERS À MOTEUR

La tendance à la baisse des émissions de benzène et d'hydrocarbures s'est amorcée en 1975, au moment de l'introduction des convertisseurs catalytiques d'oxydation. Bien que seulement 8 % des véhicules de modèle 1975 vendus au Canada aient été dotés de convertisseurs catalytiques, au cours des quelques années suivantes, ces dispositifs ont permis une diminution rapide des facteurs moyens d'émission du parc. La réduction des facteurs d'émission moyens des voitures (40 %) et des camions légers à essence (29 %) a eu plus d'importance que toute augmentation du nombre de véhicules, et les émissions ont donc diminué.

En dépit d'un accroissement constant du nombre de véhicules, les émissions de benzène et d'hydrocarbures totaux ont continué à diminuer après 1980. Cependant, pour la période s'étendant de 1980 à 1990, les émissions de benzène ne suivent plus la tendance des émissions d'hydrocarbures. Deux facteurs sont à l'origine de la diminution plus lente des émissions de benzène. D'abord, compte tenu de l'accroissement réel et prévu de la consommation des divers types d'essence sans plomb, la teneur moyenne en benzène des essences est passée d'environ 1,8 % (en volume) en 1980 à 2,5 % en 1990. Ensuite, l'utilisation accrue de convertisseurs catalytiques d'oxydation bifonctionnels et trifonctionnels a permis de nettes améliorations quant à la réduction des émissions totales d'hydrocarbures mais a entraîné une augmentation de la fraction de benzène des gaz d'échappement. Par conséquent, on a observé une réduction des émissions de benzène de seulement 2 % de 1980 à 1990, tandis que les émissions totales d'hydrocarbures ont diminué de 16 % pendant la même période.

Après 1990, l'on prévoit que les émissions de benzène suivront la même tendance que celles d'hydrocarbures, car aucun changement important ne devrait être apporté au parc automobile.

Dans l'ensemble, de 1970 à 2005, on prévoit que les émissions de benzène et d'hydrocarbures des véhicules routiers à moteur diminueront respectivement de 40 % et de 55 %.

## RÉFÉRENCES


1. Cheremisinoff, P.N. et A.C. Morresi. "Benzene Basic and Hazardous Properties". Pollution Engineering and Technology. New York, Marcel Dekker, 1979.

2. Walker, P. Air Pollution Assessment of Benzene. Environmental Protection Agency, (É.-U.), Pb-256, avril 1976.

3. Holiday, M.G. et F.R. Engelhardt. Benzene : Environmental Behaviour and Human Exposure. Rapport préparé pour la Direction de la coordination des normes sur les polluants dangereux, ministère de l'Environnement de l'Ontario, août 1986.

4. Sheffield, A. Inventaire national des sources et des émissions de benzène (1976). Environnement Canada, Direction générale de l'assainissement de l'air, SPE 3-AP-79-4F, septembre 1979.

5. Research Triangle Institute. Quantification of Benzene in 150 Ambient Air Samples. Rapport préparé pour l'Environmental Protection Agency (É.-U.), août 1977.

6. Dann, T. Benzene in the Ambient Air of Canadian Urban Areas : Sources and Exposures. Environnement Canada, Division de la mesure de la pollution, TS-8, juillet 1987.

7. Rusch, G.M., B.K.J. Leang et S. Laskin. "Benzene Metabolism". Journal of Toxicology and Environmental Health, suppl. 2, 1977, p. 23.

8. OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques). Control of Toxic Substances in the Atmosphere : Benzene. OCDE, Environment Monograph No. 5, juillet 1986.

9. Mara, S.J. et S.S. Lee. Human Exposures to Atmospheric Benzene. Melo Park, California, Stanford Research Institute, 1977.

10. Santé et Bien-être social Canada. Le benzène. Direction de l'hygiène du milieu, Direction générale de la protection de la santé, 79-EHD-40, 1979.

11. Truhart, R. et R. Murray. "International Seminar on Interpretation of Data and Evaluation of Current Knowledge of Benzene". International Archives of Occupational and Environmental Health, vol. 48, 1981, p. 107-110.

12. Seizinger, D.E. et coll. Vehicle Evaporative and Exhaust Emissions as Influenced by Benzene Content of Gasoline. National Institute for Petroleum and Energy Research (É.-U.), SAE 860531, février 1986.

13. Statistique Canada. Produits pétroliers raffinés. Publ. n° 45-004, décembre 1985.

14. Burklin, C.E. Revision of Evaporative Hydrocarbon Emission Factors. Rapport préparé pour l'Environmental Protection Agency (É.-U.), août 1976.

15. Environmental Protection Agency (É.-U.). Criteria Pollutant Emission Factors for the 1985 NAPAP Emissions Inventory. EPA/600/787/015, mai 1987.

16. ACPE (Association pétrolière pour la conservation de l'environnement canadien). Canadian Petroleum Refineries Atmospheric Emission Survey. Report No. 85-1, 1985.

17. Environmental Protection Agency (É.-U.). Assessment of Atmospheric Emissions from Petroleum Refineries, Volume 1. Rapport final EPA-600/2-80-075a, 1980.

18. Environmental Protection Agency (É.-U.). "Stationary Point and Area Sources". AP-42 Compilation of Air Pollution Emission Factors, Volume 1. 4e édition, septembre 1985.

19. "Canadian Retail Motor Gasoline Sales". Oilweek, 23 février 1987.

20. Environnement Canada. "Analyses of 15 Gasoline Samples". 1987.

21. Corpus Information Services. Benzene. CPI Product Profiles, mars 1986.

22. Environmental Protection Agency (É.-U.). Evaluation of Benzene-Related Petroleum Process Operations. EPA-430/3-79-022, 1978.

23. Environmental Protection Agency (É.-U.). Locating and Estimating Air Emissions From Sources of Benzene. Rapport préliminaire préparé par Radian Corporation, octobre 1987.

24. Environmental Protection Agency (É.-U.). Materials Balance for Benzene Level II. EPA-560/13-80-009, 1980.

25. Environmental Protection Agency (É.-U.). Organic Chemical Manufacturing, Volume 9 : Selected Processes Report 3, Ethylene. EPA-450/3-80-028d, 1980.

26. Corpus Information Services. Ethylene. CPI Product Profiles, 1986.

27. Environnement Canada. Renseignements fournis par la Division des opérations minières et métallurgiques, janvier 1988.

28. Environmental Protection Agency (É.-U.). Benzene Emissions from Coke By-Product Recovery Plants. EPA-450/3-83-016a, 1984.

29. Connor, A., Dofasco Inc. Communication personnelle et correspondance, août 1988.

30. Aylsworth, J.A., Énergie, Mines et Ressources Canada. Communication personnelle, 1988.

31. Environmental Protection Agency (É.-U.). Benzene Emissions from Benzene Storage Tanks. EPA-450/3-80-034a, 1980.

32. Industrie sidérurgique du Canada. Communication personnelle, 1986.

33. Radian Corporation. Update of Volatile Organic Compound (VOC) Species Data Manual. 2e édition, avril 1987.

34. Environmental Protection Agency (É.-U.). Organic Emissions from Ferrous Metallurgical Industries : Compilation of Emission Factors and Control Technologies. EPA-600/2-84-003, 1984.

35. Corpus Information Services. Benzene. CPI Product Profiles, 1986.

36. Corpus Information Services. Ethylbenzene. CPI Product Profiles, 1986.

37. Corpus Information Services. Styrene. CPI Product Profiles, 1986.

38. Environmental Protection Agency (É.-U.). Atmospheric Benzene Emissions. EPA-450/3-77-029, 1977.

39. Association canadienne des fabricants de produits chimiques. Overview of the Canadian Chemical Manufacturing Industry. 1987.

40. Environmental Protection Agency (É.-U.). Benzene Emissions from Ethylbenzene/Styrene Industry. EPA-450/3-79-033a, 1980.

41. Corpus Information Services. Cyclohexane. CPI Product Profiles, 1986.

42. Environmental Protection Agency (É.-U.). Organic Chemical Manufacturing, Volume 6 : Selected Processes, Report 1. EPA-450/3-80-028a, 1980.

43. Corpus Information Services. Cumene. CPI Product Profiles, 1986.

44. Corpus Information Services. Phenol. CPI Product Profiles, 1986.

45. Corpus Information Services. Maleic Anhydride. CPI Product Profiles, 1986.

46. The Asphalt Institute. Asphalt Hot-Mix Emission Study. Research Report 75-1, mars 1975.

47. Association canadienne de l'électricité. Électricité 86. 1986.

48. Herlan, A. et J. Mayer. "Polycyclische Aromaten, Benzol und andere Schadstoffe in den Abgasen eines kohleotens". GWF Gas/Erdgas, vol. 121, 1980, p. 301.

49. Statistique Canada. Bulletin trimestriel : disponibilité et écoulement d'énergie au Canada. Publ. n° 57-003, 1985.

50. Statistique Canada. Exploitation forestière. Publ. n° 25-201, 1985.

51. CONCAWE (Organisation européenne des compagnies pétrolières pour la protection de l'environnement et de la santé). Consequences of Limiting Benzene Content of Motor Gasoline. La Haye (Pays-Bas), décembre 1983.

52. CONCAWE. Benzene Emissions from Passenger Cars. La Haye (Pays-Bas), décembre 1983.

53. Environmental Protection Agency (É.-U.). Materials Balance for Benzene Level II. EPA-560/13-80-009, 1980.

54. Bradow, R.L. et F. Black. "Benzene, Toluene and Xylene Concentrations in Car Exhausts and in City Air". Atmospheric Environment, vol. 18, n° 2, 1984, p. 479-480.

55. Sigsby, J.E., Jr. et coll. "Volatile Organic Compound Emissions from 46 In-Use Passenger Cars". Environmental Science and Technology, vol. 21, n° 5, 1987, p. 466-475.

56. Statistique Canada. Véhicules automobiles : ventes de carburants. Publ. n° 53-218, 1985.

57. Environmental Protection Agency (É.-U.). AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume II, Mobile Sources. 4e édition, septembre 1985.

58. Environmental Protection Agency (É.-U.). Volatile Organic Compound (VOC) Species Data Manual. EPA-450/480-015, 2e édition, juillet 1980.

59. Estimations faites par Environnement Canada pour l'inventaire national de 1985.

60. PEDCo Environmental Inc. Atmospheric Benzene Emissions. Rapport preparé pour l'Environmental Protection Agency (É.-U.), octobre 1977.

61. Environmental Protection Agency (É.-U.). Performance Evaluation of Full-scale Hazardous Waste Incinerators. EPA-600/2-84-181e, 1984.

62. Renseignements fournis par diverses municipalités canadiennes.

63. ACPE. Canadian Service Station Fuel Transfer Emissions. Report No. 83-3, 1983.

64. Environmental Protection Agency (É.-U.). Evaluation of Air Pollution Regulatory Strategies for Gasoline Marketing Industry. EPA-450/3-84-012a, 1984.

65. U.S. Environmental Protection Agency. Revision of Evaporative Hydrocarbon Emission Factors. EPA-450/3-76-039, août 1976.

66. Correspondance entre l'Association canadienne des fabricants de produits chimiques et Environnement Canada, dossier n° 4.1.3.6, 29 janvier 1979.

# ANNEXE

# EXEMPLES DE CALCULS DES ÉMISSIONS

# ANNEXE EXEMPLES DE CALCULS DES ÉMISSIONS

## A.1 Émissions des réservoirs de stockage

On a évalué les émissions des réservoirs à toit fixe et à toit flottant. Le nombre, la taille et le type de réservoirs ont été tirés d'un rapport de l'ACPE (16). Des facteurs d'émission généraux ont été établis au moyen des valeurs hypothétiques présentées au tableau A.1. Dans les réservoirs à toit fixe, les pertes totales dues à l'évaporation étaient équivalentes à l'ensemble des pertes dues à la respiration et se produisant au cours de l'utilisation.

Les équations suivantes peuvent être utilisées pour les réservoirs cylindriques verticaux à toit fixe. Ces réservoirs doivent être très étanches (liquides et vapeurs) et être utilisés à une pression atmosphérique proche de la normale.

### A.1.1 Réservoirs à toit fixe - Pertes dues à la respiration

$$L_b = 2{,}26 \times 10^{-2} M_v \left( \frac{P}{P_a - P} \right)^{0{,}68} D^{1{,}73} H^{0{,}51} T^{0{,}50} F_P C K_C$$

où :

- $L_b$ = pertes dues à la respiration (lb/an)
- $M_v$ = poids moléculaire de la vapeur dans le réservoir (lb/lb-mole)
- $P_a$ = pression atmosphérique moyenne à l'emplacement du réservoir (pression absolue en lb/po$^2$)
- $P$ = tension de vapeur réelle dans les conditions d'ensemble du liquide (pression absolue en lb/po$^2$)
- $D$ = diamètre du réservoir (pi)
- $H$ = hauteur moyenne occupée par la vapeur, avec correction pour le volume du toit (pi)
- $T$ = changement moyen diurne de la température ambiante (°F)
- $F_P$ = facteur peinture (facteur adimensionnel)
- $C$ = facteur de correction pour les réservoirs à petit diamètre (facteur adimensionnel)
- $K_C$ = facteur produit (facteur adimensionnel) (Pour le pétrole brut, $K_C = 0{,}65$; pour tous les autres liquides organiques, $K_C = 1{,}0$.)

TABLEAU A.1 VALEURS HYPOTHÉTIQUES AYANT SERVI AU CALCUL DES ÉMISSIONS DES RÉSERVOIRS DE STOCKAGE (SANS MESURES ANTIPOLLUTION)

| | |
|---|---|
| **Conditions ambiantes** | |
| Température de stockage | 15,6 °C (60 °F) |
| Écart quotidien de température | 8,3 °C (15 °F) |
| Vitesse du vent | 4,5 m/s (10 mi/h) |
| **Dimensions du réservoir** | |
| Contenance de 67 000 bbl (10,7 x $10^6$ L) | |
| Hauteur | 14,6 m (48 pi) |
| Diamètre | 33,5 m (110 pi) |
| Contenance de 250 000 bbl (39,7 x $10^6$ L) | |
| Hauteur | 11,4 m (44 pi) |
| Diamètre | 60,8 m (200 pi) |
| **Valeurs hypothétiques** | |
| Réservoir à toit fixe | |
| Jaugeage par le creux | 50 % de la hauteur du réservoir |
| Nombre de renouvellements par an (N) | 13 |
| Facteur peinture ($F_p$) | 1,0 (nouveau réservoir, peinture blanche) |
| Réservoir à toit flottant | |
| Facteur peinture ($K_p$) | 0,09 (nouveau réservoir, peinture blanche) |
| Facteur étanchéité ($K_s$) | 1,0 (nouveau réservoir, joints modernes) |
| Facteur type de réservoir ($K_t$) | 0,045 (nouveau réservoir, parois soudées) |
| Exposant - effet du comportement du vent sur l'étanchéité (n) | 1,0 |
| Facteur produit ($K_c$) | 1,0 |
| Facteur résidus sur parois (C) | 0,0015 (rouille légère) |
| Nombre de colonnes ($N_c$) | 7 (remarque 1) |
| Diamètre utile des colonnes ($F_c$) | 1,0 |
| Facteur perte totale par les raccords et les accessoires du pont ($F_f$) | 750 (remarque 2) |
| Perte par les joints longitudinaux du pont ($B_d$) | 0 (ponts soudés) |

Remarque 1. Voir tableau 4.3-6, AP-42, 4e édition.
Remarque 2. Voir p. 21 à 24 (4.3), AP-42, 4e édition.

### A.1.2 Réservoirs à toit fixe - Pertes au cours de l'utilisation

$$L_W = 2{,}4 \times 10^{-5} M_V P V N K_n K_C$$

où :

- $L_W$ = pertes au cours de l'utilisation (lb/an)
- $M_V$ = poids moléculaire de la vapeur dans le réservoir (lb/lb-mole)
- $P$ = tension de vapeur réelle à la température d'ensemble du liquide (pression absolue en $lb/po^2$)
- $V$ = capacité du réservoir (gal)
- $N$ = nombre de renouvellements par an (facteur adimensionnel)
- $N$ = $\dfrac{\text{volume total stocké par an (gal)}}{\text{capacité du réservoir (gal)}}$

Les pertes globales des réservoirs à toit flottant sont équivalentes au total des pertes en bordure, des pertes dues au soutirage et des pertes aux raccords et accessoires et aux joints longitudinaux du pont. Toutefois, pour les réservoirs à toit flottant externe et les réservoirs à toit flottant interne soudé, il n'y a aucune perte aux joints longitudinaux du pont et il n'existe aucune méthode pour estimer les pertes aux raccords et accessoires du pont. En conséquence, les émissions n'ont été estimées que pour les pertes au cours du stockage (pertes en bordure) et du soutirage.

### A.1.3 Réservoirs à toit flottant - Pertes au cours du stockage

$$L_r = K_S V^n P^* D M_V K_C$$

où :

- $L_r$ = pertes en bordure
- $K_S$ = facteur étanchéité (lb-mole/(pi (mi/h)$^n$ a))
- $V$ = vitesse moyenne du vent à l'emplacement du réservoir (mi/h)
- $n$ = exposant - effet du comportement du vent sur l'étanchéité (facteur adimensionnel)
- $p^*$ = fonction de la tension de vapeur (facteur adimensionnel)

$$p^* = \frac{\left(\frac{P}{P_a}\right)}{\left[1 + \left(1 - \frac{P}{P_a}\right)^{0{,}5}\right]^2}$$

où :

$P$ = tension de vapeur réelle à la température moyenne réelle de stockage du liquide (pression absolue en lb/po$^2$)

$P_a$ = pression atmosphérique moyenne à l'emplacement du réservoir (pression absolue en lb/po$^2$)

$D$ = diamètre du réservoir (pi)

$M_v$ = poids moléculaire moyen de la vapeur (lb/lb-mole)

$K_C$ = facteur produit (facteur adimensionnel)

**A.1.4 Réservoirs à toit flottant - Pertes au cours du soutirage.** Les pertes dues au soutirage dans les réservoirs de stockage à toit flottant peuvent être évaluées au moyen de l'équation suivante:

$$L_W = \left[\frac{(0,943)QCW_l}{D}\right]\left[1 + \left(\frac{N_C F_C}{D}\right)\right]$$

où :

$L_W$ = pertes au cours du soutirage (lb/an)

$Q$ = volume total stocké (bbl/an) (capacité du réservoir (bbl) x nombre de renouvellements par an)

$C$ = résidus sur parois (bbl/1 000 pi$^2$)

$W_l$ = masse volumique moyenne du liquide organique

$D$ = diamètre du réservoir (pi)

$N_C$ = nombre de colonnes (facteur adimensionnel)

$F_C$ = diamètre utile des colonnes (pi) (périmètre des colonnes (pi)/$\pi$)

Pour simplifier les calculs, les facteurs d'émission pour les réservoirs à toit fixe et les réservoirs à toit flottant ont été établis et sont résumés au tableau A.2.

**Exemple 1 - Pertes de benzène au cours du stockage du pétrole brut dans les raffineries de la C.-B.**

Capacité moyenne des réservoirs : 92,5 x 10$^3$ bbl

Nombre de réservoirs : 16

Tous les réservoirs sont à toit flottant

TABLEAU A.2 FACTEURS D'ÉMISSION DE COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS AU COURS DU STOCKAGE DU PÉTROLE (lb/x $10^3$ gal)

| | Réservoirs à toit fixe | | | Réservoirs à toit flottant | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pertes dues à la respiration | | Pertes au cours de l'utilisation | Pertes au cours du stockage | | Pertes au cours du soutirage |
| | Capacité du réservoir | | | Capacité du réservoir | | |
| Substances stockées | (67 000 bbl) | (250 000 bbl) | | (67 000 bbl) | (250 000 bbl) | |
| Essence | | | | | | |
| TVR 13 | 30,5 | 22,5 | 10,0 | 18,2 | 8 9 | 0,0019 |
| TVR 10 | 23,5 | 17,4 | 8,2 | 13,4 | 6,5 | |
| Pétrole brut | | | | | | |
| TVR 5 | 5,78 | 4,15 | 2,47 | 1,76 | 0,89 | 0,007 |
| Naphta | 8,8 | | 6,3 | 2,50 | 3,5 | 1,70 |

Remarques : 1 bbl (baril) = 0,159 $m^3$
TVR = tension de vapeur Reid

En conséquence :

$L_S$ = 1,76 lb / $10^3$ gal x (92,5 x $10^3$ x 42) gal x 16
= 109 402 lb
= 50 t

$L_W$ = 0,007 lb / $10^3$ gal x (92,5 x $10^3$ x 42) gal x N x 16

N = 12 renouvellements
= 0,007 x 3 885 x 12 x 16
= 5 221 lb
= 2 t

Émissions totales d'hydrocarbures = 52 t

Émissions totales de benzène = 0,002 x 0,4 x 52 t
= 0,04 t

où 0,4 est un facteur employé pour convertir les concentrations en phase liquide en concentrations en phase vapeur.

**Exemple 2 - Pertes de benzène au cours du stockage de l'essence dans les raffineries de la Saskatchewan**

Réservoirs à toit fixe

1 de 12,7 x $10^3$ $m^3$

10 de 72,1 x $10^3$ $m^3$

Moyenne pondérée : 7,71 x $10^3$ $m^3$

Pertes dues à la respiration : $L_b$ = 2 037 x $10^3$ gal x 30,5 lb/$10^3$ gal x 11

= 310 t

Pertes au cours de l'utilisation : $L_w$ = 2 037 x $10^3$ gal x 10 lb/$10^3$ gal x 11 x 10

= 1 321 t

Réservoirs à toit flottant

3 de 44,1 x $10^3$ $m^3$

Moyenne : 14,7 x $10^3$ $m^3$

Pertes au cours du stockage : $L_s$ = 3 883 x $10^3$ gal x 18,2 lb/$10^3$ gal x 3

= 96 t

Pertes au cours du soutirage : $L_w$ = 3 883 x $10^3$ gal x 0,0019 lb/$10^3$ gal x 3 x 13

= 0,13 t

Pertes totales d'hydrocarbures = 1 727 t

Moyenne pondérée (benzène) = 1,81 % (vol.)

Émissions de benzène = 1 727 x 0,018 x 0,4

= 12,4 t

## A.2 Émissions dues à la consommation de combustibles

Des émissions de benzène peuvent résulter de la combustion de l'essence, du bois, du charbon, du gaz naturel et du carburant diesel. Voici des exemples de calculs de ces émissions.

**A.2.1 Émissions au cours du chauffage des habitations.** Le tableau A.3 présente la composition du bois de chauffage au Canada.

TABLEAU A.3 COMPOSITION DU BOIS DE CHAUFFAGE

| Analyses finales*(%) | | Bois de chauffage type (kg/kg de bois) |
|---|---|---|
| C | 49,6 à 53 | 0,513 |
| $H_2$ | 5,8 à 6,7 | 0,063 |
| $O_2$ | 39,8 à 48,8 | 0,418 |
| S | <1 | 0,006 |
| $N_2$ | <1 | 0,006 |
| Cendres | <1 | 0,006 |
| TOTAL | | 1,00 |

* Marks Standard Handbook for Mechanical Engineers, 5e édition

**Calcul des facteurs d'émission de la combustion du bois de chauffage**

$C + O_2 = CO_2$ (1)

$H_2 + 1/2\ O_2 = H_2O$ (2)

$O_2$ nécessaire à la combustion

$0,513 \times 32/12 = 1,37$ (1)

$0,063 \times 16/2 = 0,50$ (2)

Quantité d'air sec requise pour la combustion

La proportion de $O_2$ dans l'air est de 0,232 (en poids)

La proportion de $N_2$ dans l'air est de 0,768 (en poids)

Équation : (1) donne $\frac{1,37}{0,232} = 5,91$

(2) donne $\frac{0,50}{0,232} = 2,16$

QUANTITÉ TOTALE D'AIR REQUISE = 8,07 lb/lb de combustible

Moins $O_2$ du bois :

$O_2$ en excès = 0,418

donc : air en excès = 1,80 à 100 % d'air

Soit 130 % d'air nécessaire pour la combustion :

(8,07 - 1,80) x 1,3 = 8,15

donc : air en excès = 1,88 lb/lb bois

$O_2$ en excès = 0,44 lb/lb de bois

Produits de la combustion

| | | |
|---|---|---|
| $H_2O$ | 0,063 x 18/2 | = 0,567 |
| $CO_2$ | 0,513 x 44/12 | = 1,88 |
| $O_2$ | en excès | = 0,44 |
| $N_2$ | (0,768 x 8,15) | = 6,26 |
| | | 9,15 |

C'est-à-dire : 9,15 lb de gaz par lb de bois sec

Poids moléculaire de l'air

| | |
|---|---|
| 23,2 % de $O_2$ | PM = 32 |
| 76,8 % de $N_2$ | PM = 28 |

PM de l'air = 32 (0,232) + 28 (0,768) = 28,93

À une température et une pression normales, une molécule-gramme occupe 22,4 L ou :

$$1 \text{ molécule-gramme} = \frac{0,022414}{28,93} \text{ m}^3/\text{g}$$

$$= 7,748 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{g}$$

Pour le bois de chauffage employé, le volume des gaz de cheminée par kg de bois est égal à :

9,15 kg de gaz/kg de bois sec x $7,748 \times 10^{-1}$ $m^3$/kg

= 7,09 $m^3$/kg

Remarque : En supposant que le bois est sec.

**Analyse de la combustion du charbon à des fins de comparaison**

Composition type du charbon du Cap-Breton:

| | |
|---|---|
| $O_2$ | 7 % |
| C | 78 % (pouvoir calorifique = 32 430 kJ/kg (14 100 BTU/lb)) |
| $H_2$ | 5 % |
| S | 2 % |
| $N_2$ | 1 % |
| Cendres | 7 % |
| | 100 % |

À 130 % d'air pour la combustion et à une température de 149 °C à la sortie de la cheminée, 7,65 $m^3$ de gaz sont produits par livre de charbon brûlé (16,82 $m^3$/kg). Le charbon produit environ le double des gaz produits par le bois.

Au moyen des rapports donnés dans l'étude de l'OCDE (8), on peut mettre en équation les mesures du volume et du poids tant pour le charbon que pour le bois en formulant certaines hypothèses.

Les émissions de benzène provenant d'une centrale électrique alimentée au charbon étaient d'environ 10 mg/$m^3$ (la valeur signalée (48) était : 0,1 mg/kg).

Les émissions de benzène dans les gaz de cheminée des habitations chauffées au bois varient de 1 à 100 mg/$m^3$ (8).

Supposons que :

1) la combustion de 1 kg de charbon produit 16 $m^3$ de gaz de cheminée; et
2) la combustion de 1 kg de bois produit 8 $m^3$ de gaz de cheminée.

Si 10 mg/$m^3$ de benzène sont libérés pendant la combustion du charbon et que cela équivaut à 0,1 mg de benzène par kg de bois, on peut alors supposer que des émissions de benzène de 1 à 100 mg/$m^3$ équivalent à des émissions de 0,005 à 0,5 g de benzène par kg de bois.

Un taux d'émission de benzène de 6 % a été signalé par l'EPA des États-Unis pour le bois de chauffage utilisé dans les habitations. (Cette valeur a été mesurée au moyen d'un catalyseur activé.) En outre, le rapport AP-42 donne des émissions de COV de 0,7 g/kg pour les chaudières, de 13 g/kg pour les foyers et de 51 g/kg pour les poêles à bois. On peut ainsi établir une plage de facteurs d'émission de benzène de 0,042 à 3,06 g/kg.

On a estimé les émissions de quatre types d'installations de chauffage au bois utilisés dans les habitations en se servant de la méthodologie établie pour les émissions

d'hydrocarbures. Les valeurs données ci-après ont été tirées d'un rapport de la firme Envirobec intitulé Quantification et prévision des émissions provenant du chauffage résidentiel au bois au Québec (1983). D'après ce rapport, l'utilisation des quatre types suivants d'installations de chauffage au bois est très répandue :

| Poêle à combustion lente | Poêle classique* | Foyer | Chaudière |
|---|---|---|---|
| 11,8 % | 24,3 % | 47,5 % | 16,4 % |
| FACTEUR D'ÉMISSION DE COV | | | |
| 51 g/kg | 20 g/kg | 13 g/kg | 0,7 g/kg |

* On présume que le facteur d'émission des poêles classiques représente 40 % de celui des poêles à combustion lente.

D'après Statistique Canada (50), la production de bois de chauffage a atteint 6 074 kt au Canada en 1985. On a établi les facteurs d'émission de benzène en choisissant, de façon arbitraire, des estimations dans les plages de valeurs présentées dans les rapports. De plus, on n'a utilisé aucun facteur d'émission des COV dépassant 16,7 g/kg (dont 6 % représentent 1 g de benzène par kg de bois).

**Exemple 1 - Calcul des facteurs d'émission de la combustion du bois de chauffage**

Facteurs d'émission de benzène (kg/t)

Chaudière = 0,01 Poêle classique = 0,4

Foyer = 0,042 Poêle à combustion lente = 1,0

Utilisation du bois de chauffage (kt) :

| | Poêle classique | Poêle à combustion lente | Foyer | Chaudière |
|---|---|---|---|---|
| Canada | 1 476 | 717 | 2 885 | 996 |

Émissions de benzène = $(0{,}01 \text{ kg/t} \times 996 \times 10^3\text{t}) + (0{,}042 \times 2\,885 \times 10^3\text{t}) + (0{,}4 \times 1\,476 \times 10^3\text{t}) + (1 \times 717 \times 10^3\text{t})$

= 1 439 t

## A.2.2 Émissions des véhicules

TABLEAU A.4 CONCENTRATIONS DE BENZÈNE DANS L'ESSENCE, % (vol./vol.) (été 1987) (20)

| Échantillon | Société | Emplacement | Type d'essence | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Super sans plomb | Sans plomb | Au plomb |
| 1 | Shell | Toronto | 4,0 | 2,0 | 1,0 |
| 2 | Petro-Canada | Ottawa | 2,7 | 2,1 | 1,5 |
| 3 | Sunoco | Montréal | 1,1 | 1,5 | 2,3 |
| 4 | Texaco | Nouvelle-Écosse | 2,7* | 2,7 | 1,7* |
| 5 | | Vancouver | 1,7 (Chevron) | 1,9 (Shell) | 0,9 (Esso) |

| Échantillon témoin : | % prévu | % relevé |
|---|---|---|
| Essence sans plomb de la société Shell additionnée de benzène | 3,0 | 2,9 |

* Ces résultats ont été vérifiés par des analyses répétées.

TABLEAU A.5 ÉMISSIONS DES VÉHICULES ROUTIERS À MOTEUR À ESSENCE

Exemple 1 - Canada (1985)

| Type de véhicule | Nombre | Distance parcourue (km) | Échappements d'hydrocarbures (facteur d'émission) (g/km) | Émissions dans les gaz d'échappement (t) | Évaporation des hydrocarbures (facteur d'émission) (g/km) | Émissions dues à l'évaporation (t) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Voitures | 11 118 071 | 15 289 | 1,93 | 327 427 | 1,09 | 184 838 |
| Camions légers à essence | 2 244 085 | 17 703 | 3,16 | 125 399 | 1,94 | 77 017 |
| Véhicules lourds à essence | 285 646 | 20 117 | 2,47 | 14 211 | 4,75 | 27 315 |
| Camions légers diesel | 201 588 | 17 703 | 0,28 | 998 | 0 | 0 |
| Véhicules lourds diesel | 216 353 | 82 881 | 2,04 | 36 658 | 0 | 0 |
| Motocyclettes | 470 445 | 2 816 | 2,27 | 3 013 | 1,40 | 1 852 |

**Émissions de benzène** (évaluées d'après les ventes des divers types d'essence et les facteurs d'émission de benzène de chacun d'entre eux)

| Type d'essence | Total des ventes (1 000 $m^3$) | Répartition selon les indices d'octane | Facteur d'émissions de benzène (% des hydrocarbures) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Gaz d'échappement | Évaporation |
| Au plomb | 16 500,1 | 50 | 3,1 | 2,0 |
| Sans plomb | 13 422,1 | 41 | 3,5 | 2,2 |
| Super sans plomb | 2 808,3 | 9 | 4,0 | 2,4 |
| Total | 32 730,5 | | | |

**Calcul des émissions de benzène provenant des automobiles au Canada**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Émissions d'hydrocarbures dans les gaz d'échappement | = | 327 427 | t |
| Émissions d'hydrocarbures par évaporation | = | 184 838 | t |

Émissions de benzène (gaz d'échappement)

| | | | |
|---|---|---|---|
| Essence au plomb | (327 427 x 0,5) x 0,031 = | 5 075 | t |
| Essence sans plomb | (327 427 x 0,41) x 0,035 = | 4 699 | t |
| Super sans plomb | (327 427 x 0,09) x 0,04 = | 1 179 | t |

Émissions de benzène (évaporation)

| | | | |
|---|---|---|---|
| Essence au plomb | (184 838 x 0,5) x 0,02 = | 1 848 | t |
| Essence sans plomb | (184 838 x 0,41) x 0,022 = | 1 667 | t |
| Super sans plomb | (184 838 x 0,09) x 0,024 = | 399 | t |
| Émissions totales de benzène provenant des voitures | | 14 867 | t |

**Exemple 2 - Véhicules légers, Ontario (1985)**

| Type de véhicule | Émissions d'hydrocarbures (t) | |
|---|---|---|
| | Gaz d'échappement | Évaporation |
| Voitures | 120 560 | 68 058 |
| Camions légers à essence | 36 629 | 22 496 |
| Camions légers diesel | 291 | 0 |
| Motocyclettes | 957 | 588 |

Facteur d'émission de benzène pour le carburant diesel = 0,019 x émissions d'hydrocarbures

| Ventes d'essence | (x 10 $m^3$) | (% du total) |
|---|---|---|
| Au plomb | 5 065,3 | 43 |
| Sans plomb | 5 736,6 | 48 |
| Super sans plomb | 1 034,6 | 9 |
| TOTAL | 11 836,5 | |

| Type d'essence | Facteur d'émission de benzène (% des hydrocarbures) | |
|---|---|---|
| | Gaz d'échappement | Évaporation |
| Au plomb | 0,031 | 0,02 |
| Sans plomb | 0,035 | 0,022 |
| Super sans plomb | 0,04 | 0,024 |

| Type de véhicules | Émissions de benzène (t) | | |
|---|---|---|---|
| | Gaz d'échappement | Évaporation | Total |
| Voitures | 4 066 | 1 440 | 5 506 |
| Camions légers à essence | 1 235 | 476 | 1 711 |
| Camions légers diesel | 6 | 0 | 6 |
| Motocyclettes | 32 | 12 | 44 |
| TOTAL POUR LES VÉHICULES LÉGERS DE L'ONTARIO | | | 7 267 |

On a eu recours au modèle informatique Mobile 3C pour établir les facteurs d'émission d'hydrocarbures. Seul le pourcentage de benzène dans les hydrocarbures totaux provenant du tableau A.6 a servi à la détermination des tendances.

TABLEAU A.6 ÉMISSIONS DE BENZÈNE POUR DIVERS DISPOSITIFS ANTIPOLLUTION

| | N | Hydro-carbures (mg/km) | % de benzène | Émissions de benzène (mg/km) |
|---|---|---|---|---|
| **Autoroutes urbaines achalandées** | | | | |
| Aucun catalyseur, avec air | 3 | 0,729 | 2,42 | 19,32 |
| Catalyseur d'oxydation, sans air | 12 | 0,845 | 4,11 | 33,99 |
| Catalyseur d'oxydation, avec air | 10 | 0,515 | 3,42 | 18,64 |
| Catalyseur bifonctionnel, avec air | 12 | 0,257 | 3,83 | 10,19 |
| Catalyseur trifonctionnel, sans air | 3 | 0,099 | 4,88 | 5,84 |
| **Méthodes d'essai fédérales** | | | | |
| Aucun catalyseur, avec air | 3 | 1,388 | 2,33 | 32,50 |
| Catalyseur d'oxydation, sans air | 12 | 1,218 | 3,26 | 38,46 |
| Catalyseur d'oxydation, avec air | 10 | 1,010 | 2,81 | 28,02 |
| Catalyseur bifonctionnel, avec air | 12 | 0,375 | 2,63 | 10,31 |
| Catalyseur trifonctionnel, sans air | 3 | 0,217 | 4,16 | 9,13 |
| **Ville de New York** | | | | |
| Aucun catalyseur, avec air | 3 | 4,907 | 1,81 | 93,2 |
| Catalyseur d'oxydation, sans air | 12 | 3,785 | 3,03 | 105,88 |
| Catalyseur d'oxydation, avec air | 10 | 3,736 | 2,23 | 92,15 |
| Catalyseur bifonctionnel, avec air | 12 | 1,521 | 2,14 | 34,98 |
| Catalyseur trifonctionnel, sans air | 3 | 0,864 | 2,92 | 25,22 |

N - taille de l'échantillon

Source: Environmental Protection Agency (É-U.), Locating and Estimating Air Emissions from Sources of Benzene, 450 14-84-007q, 1987.

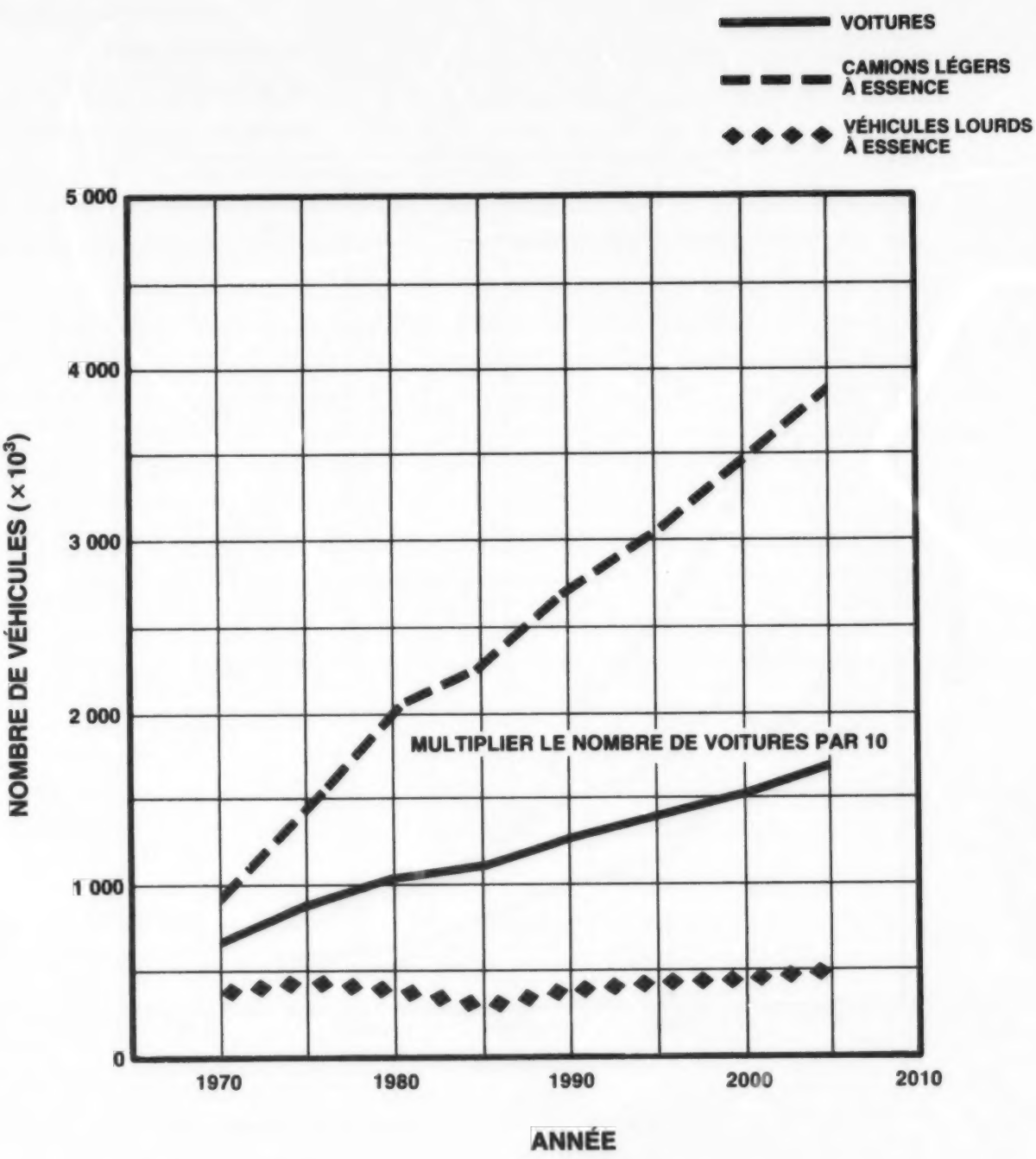



FIGURE A.1 ESTIMATIONS DU NOMBRE DE VÉHICULES ROUTIERS À MOTEUR

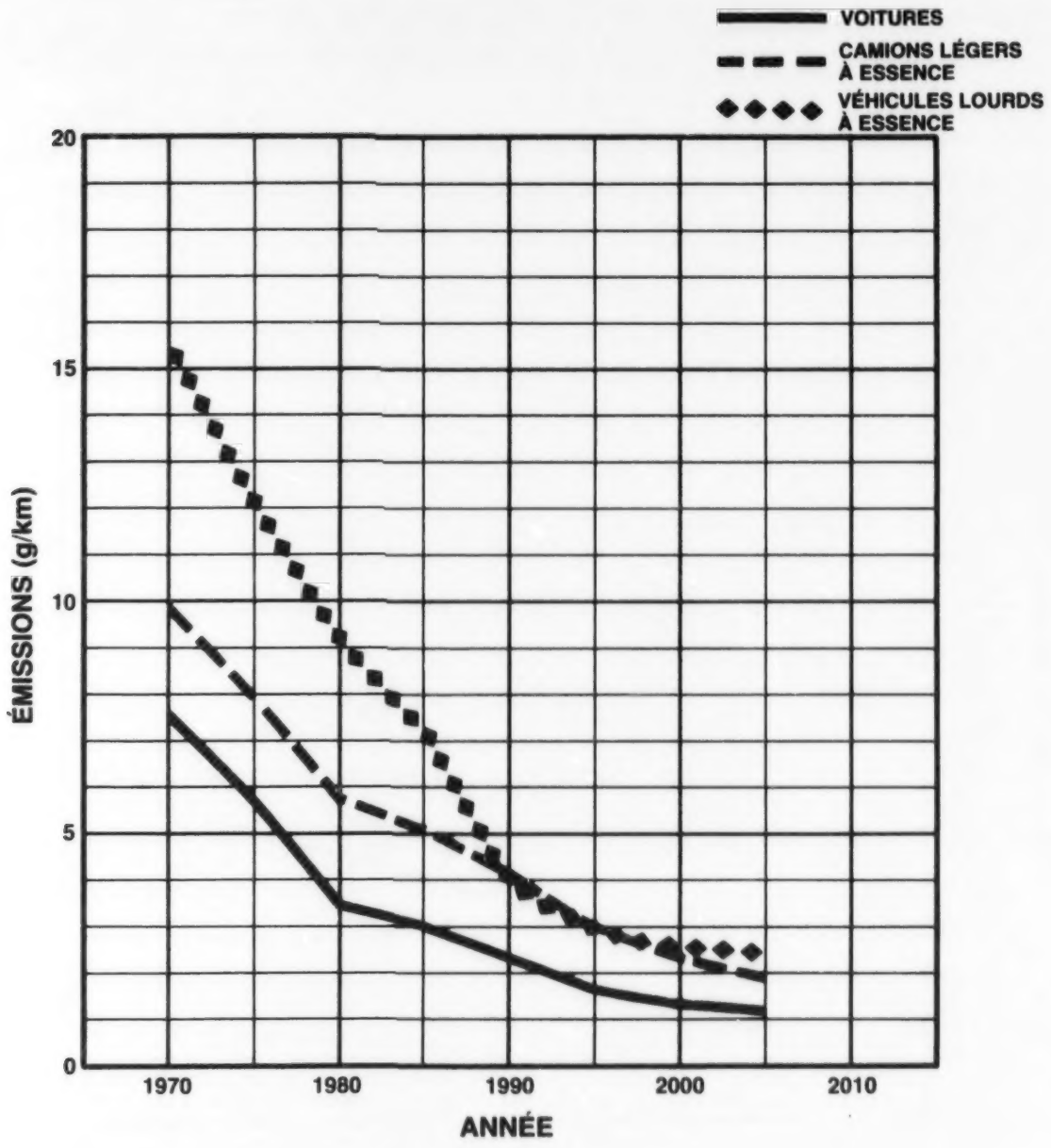



FIGURE A.2 FACTEURS D'ÉMISSION D'HYDROCARBURES POUR LES VÉHICULES ROUTIERS À MOTEUR

**Émissions des bateaux**

Pour les bateaux, il y a deux sources possibles d'émissions de polluants : lorsque le bateau est en marche et pendant le fonctionnement de la génératrice auxiliaire lorsque le bateau est à quai. Ce n'est qu'en Ontario et au Québec que les bateaux produisent d'importantes émissions pendant qu'ils sont en marche. Les volumes d'huile lourde et de carburant diesel utilisés respectivement pour les bateaux à vapeur et à moteur ont été fournis par Statistique Canada (publication n° 57-003).

Le nombre de mouillages dans un port, tant pour les bateaux à vapeur que pour les bateaux à moteur, a été déterminé d'après les pourcentages du nombre total de mouillages à quai tiré de la publication 54-210 de Statistique Canada. Ces pourcentages représentent la moyenne du rapport bateaux à vapeur/bateaux à moteur pour 1980 et 1981. Le nombre de moteurs hors-bord a été tiré de la publication 64-202 de Statistique Canada. On a présumé une utilisation moyenne de 6,8 kW et de 50 h/a.

TABLEAU A.7 F..CTEURS D'ÉMISSION D'HYDROCARBURES POUR LES BATEAUX

| | | | |
|---|---|---|---|
| **À quai** | | | |
| Bateaux à moteur (carburant diesel) | | 39,8 | kg/mouillage à quai |
| Bateaux à vapeur (huile lourde) | | 10,9 | kg/mouillage à quai |
| **En marche** | | | |
| Bateaux à moteur (carburant diesel) | Ontario | 7,0 | g/L |
| | Québec | 6,0 | g/L |
| Bateaux à vapeur (huile lourde) | | 0,08 | g/L |
| **Moteurs hors-bord** (essence) | | 115,6 | g/kWh |

Émissions d'hydrocarbures des bateaux

| | | |
|---|---|---|
| Canada | Bateaux mouillés dans un port | 2 069 t |
| | Bateaux en marche | 1 938 t |
| | Total | 4 007 t |

Émissions de benzène : 0,0073 x 4 007 = 29 t

Moteurs hors-bord

Canada Émissions totales = 26 688 t

En supposant que les émissions de benzène sont de 2,5% : 26 688 x 0,025 = 667 t

**Émissions des véhicules routiers à moteur diesel**

Les émissions des véhicules routiers à moteur diesel ont été calculées de la même façon que celles des véhicules routiers à moteur à essence, en excluant les émissions dues à l'évaporation. On a utilisé un facteur de 0,019 afin d'estimer les émissions de benzène dans les émissions totales d'hydrocarbures.

Camions lourds diesel

Émissions d'hydrocarbures 36 658 t

Émissions de benzène 36 658 x 0,019 = 697 t

TABLEAU A.8 FACTEURS D'ÉMISSION D'HYDROCARBURES POUR LES VÉHICULES À MOTEUR DIESEL

| Secteur | Facteur d'émission ($kg/m^3$) |
|---|---|
| Exploitation minière | 3,55 |
| Secteur de la fabrication | 4,49 |
| Exploitation forestière | 4,45 |
| Administration publique | 3,37 |
| Pipelines | 4,49 |
| Construction | 3,79 |
| Agriculture | 7,24 |

Exemple de calcul :

Exploitation minière $938 \times 10^3\ m^3 \times 3{,}55\ kg/m^3 = 3\,329$ t

Émissions de benzène 0,019 x 3 329 = 63 t

## A.3 Émissions au cours de la commercialisation de l'essence

Exemple de calcul - Colombie-Britannique
Essence totale : 3 491,3 x $10^3$ $m^3$

Transfert depuis les réservoirs de stockage des raffineries jusqu'aux réservoirs de commercialisation et de stockage en vrac

| | |
|---|---|
| Facteur d'émission pour les camions : | 0,674 kg/$m^3$ |
| Facteur d'émission pour les bateaux : | 0,75 kg/$m^3$ |

85 % par camion et 15 % par bateau : facteur d'émission global de 0,685 kg/$m^3$
Pertes depuis les réservoirs de commercialisation : 0,34 kg/$m^3$

| | |
|---|---|
| Remplissage des réservoirs souterrains | 0,930 kg/$m^3$ |
| Respiration des réservoirs souterrains | 0,12 kg/$m^3$ |
| Ravitaillement des véhicules | 1,375 kg/$m^3$ |
| Déversements | 0,080 kg/$m^3$ |

Émissions d'hydrocarbures : $(3\,491{,}3 \times 10^3)(0{,}685 + 0{,}34 + 0{,}93 + 0{,}12 + 1{,}375 + 0{,}08)$
$= 12\,324$ t

Émissions de benzène : $0{,}006 \times 12\,324 = 74$ t